Industry Canada
Research Publications Program

SECTORAL IMPACTS OF KYOTO COMPLIANCE

Working Paper Number 34
March 2001

Industry Canada Research Publications Program

The Industry Canada Research Publications Program provides a forum for the analysis of key micro-economic challenges in the Canadian economy and contributes to an informed public debate on these issues. Under the direction of the Micro-Economic Policy Analysis Branch, the Program's research paper series features peer-reviewed analytical working papers or policy-related discussion papers written by specialists on micro-economic issues of broad importance.

The views expressed in these papers do not necessarily reflect the views of Industry Canada or of the federal government.

102-00918/

Industry Canada
Research Publications Program

SECTORAL IMPACTS OF KYOTO COMPLIANCE

By Randall Wigle
Wilfrid Laurier University

Working Paper Number 34
March 2001

Aussi disponible en français

Canadian Cataloguing in Publication Data

Wigle, Randall

Sectoral impacts of Kyoto compliance

(Working paper; number 34)
Text in English and French on inverted pages.
Title on added t.p.: Les répercussions sectorielles de l'application du protocole de Kyoto.
Includes bibliographical references.
ISBN 0-662-65581-8
Cat. No. C21-24/34-2001

1. Greenhouse gases – Canada.
2. Environmental protection – Economic aspects – Canada.
3. Energy policy – Canada.
4. Power resources – Canada.
I. Canada. Industry Canada.
II. Title.
III. Series: Working paper (Canada. Industry Canada); no. 34.

QC912.3W53 2001 363.738'747 C2001-980096-7E

Published in March 2001

The list of titles available in the Research Publications Program and details on how to obtain copies can be found at the end of this document. Abstracts of research volumes and the full text of papers published in Industry Canada's various series and of our quarterly newsletter, *MICRO*, are available on *STRATEGIS*, the Department's online business information site, at http://strategis.gc.ca.

Comments should be addressed to:

Someshwar Rao
Director
Strategic Investment Analysis
Micro-Economic Policy Analysis
Industry Canada
5th Floor, West Tower
235 Queen Street
Ottawa, Ontario
K1A 0H5

Tel.: (613) 941-8187
Fax: (613) 991-1261
E-mail: rao.someshwar@ic.gc.ca

ACKNOWLEDGEMENTS

The assistance of Karen Huff at early stages of the work is gratefully acknowledged. Earlier versions of this study were presented at Industry Canada in February and September 1999, at the University of Guelph in October 1999, and at Simon Fraser University in November 1999. The author acknowledges numerous useful suggestions made on these occasions and since by several contacts at NRCan, Finance Canada and Industry Canada, notably Paul Monfils, Philip Bagnoli, Jeremy Rudin and several members of the MEPA staff. Detailed comments by Marcel Mérette and Jean Mercenier were particularly helpful. The author alone is responsible for any remaining errors.

TABLE OF CONTENTS

1. INTRODUCTION AND OUTLINE 1
   1.1 Outline 2
   1.2 The Kyoto Protocol 3
   1.3 Emissions Trading Schemes 3

2. PREVIOUS RESEARCH 5
   2.1 GDP Impacts 5
   2.2 Permit Prices 6
   2.3 Sectoral Impacts 7
   2.4 Overview 9

3. THE MODEL AND DATA 11
   3.1 Non-technical Sketch of the Model 11
      3.1.1 Energy Use 12
      3.1.2 Electricity Generation 12
   3.2 Technical Overview of the Model 12
   3.3 Sectoral Analysis: Background 14

4. ANALYSIS OF KYOTO COMPLIANCE 17
   4.1 National Permit Schemes 17
      4.1.1 Depth of Emissions Reduction 20
      4.1.2 Sectoral Effects 21
      4.1.3 Sectoral Exemptions 22
      4.1.4 Summary: National Schemes 26
   4.2 Global Permit Schemes 27
      4.2.1 Sectoral Effects 28
      4.2.2 Sectoral Exemptions 30
      4.2.3 Global Trading: Summary 33

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS 35

APPENDIX A: DATA APPENDIX 37

APPENDIX B: CENTRAL CASE PARAMETERS 39

APPENDIX C: BAU SCENARIO 43
   C.1 Emissions 44

APPENDIX D: PARAMETER SENSITIVITY 45
   D.1 Limited Sensitivity Analysis of NCP 45
   D.2 Limited Sensitivity Analysis of GCP 46

NOTES 49

BIBLIOGRAPHY 53

INDUSTRY CANADA RESEARCH PUBLICATIONS 55

1. INTRODUCTION AND OUTLINE[1]

This paper looks at Canada's compliance with its Kyoto Protocol obligations, focusing on two questions:

1. What sectors are likely to be the hardest hit (and, conversely, which might benefit) from various modalities of compliance with the Kyoto Protocol?

2. How do the costs of compliance change when the domestic implementation plan exempts some sectors?

The analysis is conducted using a simulation model of the world economy. Specifically, a static CGE (Computable General Equilibrium) model based on the GTAP (Global Trade Analysis Project) data[2] is used. A distinguishing feature of this analysis is the relatively detailed sectoral breakdown: 31 sectors and 11 regions are identified.

The study first looks at two "core" cost-effective policy approaches (national and global carbon permit trading) by way of placing the model's results in the context of other existing CGE carbon models. The central case welfare effects and carbon taxes presented have a very similar flavour to results surveyed in the May, 1999 special issue of the *Energy Journal* on the costs of the Kyoto Protocol in most respects.

Given the plethora of models available for the analysis of these issues, the focus of this paper is on sectoral effects and the *relative* compliance costs associated with different domestic implementation schemes, rather than the specific welfare effects or carbon taxes generated. It also looks at how the sector-by-sector impacts of compliance are affected by various modalities of domestic implementation. This allows us to see how compliance costs and carbon prices respond to the same issues in policy configuration.

Part of the analysis focuses on domestic implementation against the backdrop of a given international framework. In particular, we consider domestic implementation plans that only apply to some sectors of the economy. The key findings are as follows:

1. If the Kyoto Protocol is implemented by reducing Canadian emissions by roughly 25 percent relative to *business-as-usual* (BAU) at 2010[3], Canada's most energy-intensive sectors can expect to decline markedly, though only dramatically for the energy sectors themselves. The energy-intensive sectors that don't decline will be those that enjoy energy or carbon-intensity advantages over their Annex B competitors (usually in the United States). This may reduce or reverse the decline of the sector. Canada's least energy-intensive sectors are likely to experience much more limited impacts and several may expand modestly.

   These conclusions assume a cost-effective domestic implementation scheme in Canada, such as an across-the-board carbon tax or a comprehensive carbon permits scheme. If such a domestic implementation scheme is adopted, the cost of compliance for Canada is estimated to be modest (less than 1.5 percent of GNP).

2. If the Kyoto Protocol is implemented with significant international trading, the important negative sectoral impacts largely disappear. In some cases, energy-intensive industries may *expand* modestly even if their energy intensities exceed those of Annex B competitors. This is most likely to be the case when their energy intensities are still less than those of their non-Annex B competitors. In such sectors, exports may rise and imports may fall.

3. Without sectoral exemptions, the broad conclusion is that, with or without global permit trading, Kyoto compliance is moderately costly. Extending broad sectoral exemptions or departing from cost-effective instruments of domestic implementation can alter that basic conclusion.

4. If any carbon restrictions are focused narrowly, the resulting plans can be extremely costly when all abatement occurs within Canada. The narrower the focus of implementation plans, the higher the cost to Canada. In one extreme case where the energy-intensive sectors are all exempted, the welfare cost can be 4–6 times as high as under a comprehensive scheme.[4] In the case where the most energy-intensive sectors alone are targeted, the welfare cost roughly doubles, but this result relies on the availability of a backstop technology which could provide added abatement at constant cost. Whether such a technology will be available at a feasible cost is an open question.

5. Such sectoral exemptions can also radically alter the pattern of sectoral effects in the absence of international trading. Indeed, the sectoral impacts come to reflect the pattern of exemptions rather than energy intensities.

6. In the presence of global trading, sectoral exemptions in the domestic implementation plan among buyer regions are typically more costly than cost-effective plans, but the consequences of the exemptions are dramatically less acute than without trading, even when these distortions are extended to all buyer regions. The narrower the focus of implementation plans, the higher the cost. One effect of such exemptions is to reduce the proportion of abatement achieved within Annex B regions with the exemptions.

7. When sectoral exemptions are used without trading, the effect is to enforce higher proportions of emissions reductions on those sectors that do need to comply. This raises the marginal cost of abatement (carbon taxes). In some cases, these tax rates are astronomical. Note that these high tax rates can emerge even when there is a carbon-free backstop, if the electricity sector is exempted from compliance. These extreme carbon taxes are indicative of a very serious flaw in the logic of extreme exemptions. By contrast, with global trading of emissions permits, one of the main impact is to reduce domestic abatement.

8. An exemption for final users appears to have significantly less welfare impact than sectoral exemptions, but does cause the required carbon tax for a given target to rise. This result is independent of the presence or absence of international trading. Further, when there is global trading of permits, it does not dramatically reduce the extent of the Kyoto commitment achieved through emissions reductions in Canada.

9. If international trading of permits between Annex B and non-Annex B regions is pursued on a project-by-project basis, many opportunities for inexpensive abatement are likely to be missed. Such divergences from cost-effectiveness in seller regions are likely to increase the world carbon price and increase compliance costs.

1.1 Outline

The structure of the report is as follows. First, the policy context of the Kyoto Protocol is very briefly reviewed in section 1.2. Some earlier research is then reviewed in section 2. The model used (MRT-C) and the accompanying data are briefly described in section 3.

Section 4 presents the main results for two "core" experiments plus some departures from the standard experiments. The core experiments are unilateral compliance by all Annex B countries and full global trading. In either case, the targets are achieved either by carbon taxes or tradeable permits. As implemented in this model, the two are entirely equivalent. With the appropriate assignment of revenues, our results can be used to represent a uniform global carbon tax system such as that suggested by Schneider and Goulder (1997) as well as a system of tradeable permits.[5] Once the results of these standard experiments are presented, we look at alternative cases where domestic implementation in Canada and/or abroad departs from a cost-effective approach.

The main findings are briefly summarized in section 5.

1.2 The Kyoto Protocol

The Kyoto Protocol binds a large number of high- and middle-income countries to reducing their greenhouse emissions by 2008–2012. Under the Protocol, Annex B countries committed to the emissions targets listed in Table 1.1. The Protocol includes the possibility of emissions trading under some circumstances. This trading could take place in a yet-to-be negotiated way between Annex B nations, but this will include exchanges on a project-by-project basis, called Joint Implementation (JI). Trading between Annex B and non-Annex B countries is allowed to take place using the Clean Development Mechanism (CDM).

Table 1.1
Kyoto Commitments (% of 1990 Emissions)

Canada	94
Australia	108
New Zealand	100
Japan	94
United States	93
European Union	92
Former Soviet Union	100
Central European Associates	92–95

The exact nature and regulation of emissions trading is yet to be completely resolved, but it seems clear that the intent is to make sure that trading results in real emissions reductions (presumably interpreted against BAU emissions) in the non-Annex B countries, which would effectively provide "abatement services" to Annex B countries.

1.3 Emissions Trading Schemes

Under an emissions trading or tradeable discharge permits scheme, a fixed quantity of emissions permits are either auctioned or allocated to polluters. Polluters are then free to emit a quantity of pollution no greater than the number of permits they have obtained.[6] In its purest form, an emissions trading scheme represents a cost-effective policy approach that provides incentives to abate to all polluters. If the permits were auctioned by the government, their market price per tonne of carbon would equal the exact carbon tax required to achieve the same emissions target. As such, the marginal cost of emissions would be the same for all emitters under the tax or permit scheme. Further, the tax revenue of the carbon tax would exactly equal the revenue returned to the government from the sale of permits under a permit scheme. A permit scheme has two key advantages over carbon taxes (emissions taxes or effluent fees).

The first advantage of an emissions trading scheme is that it allows the compliance costs of polluters to be lower. As long as some of the permits are allocated to polluters free of charge, the compliance costs will be cheaper than an effluent fee scheme attaining the same emissions target. While polluters must pay abatement costs under both schemes, the polluters are not required to disburse as much to obtain permits as they would pay in fees.

The second key advantage is that it allows flexibility in the allocation of the total burden of compliance. In the case of national permit schemes, particular sectors may be helped financially by being provided with large allocations of permits while still having a strong incentive to abate. If governments decide to use "grandfathered" permits, they would give some share of the permits away for free to firms based on some allocation rule. Typically, the permits are given away to firms based on their historical share of emissions or employment. Although the permits are given to firms, they are still worth something if the firm can abate its emissions for less than the market price of the permits. In the MRT-C model, permits are identical to carbon taxes because the market for permits is assumed to be perfectly competitive and because all revenues accrue to one consumer in each region.

In the case of international trading as foreseen for the Kyoto Protocol, poorer nations can be given incentives to abate, without requiring them to bear the full cost of compliance. Indeed, a permit scheme could be designed where the poor nations need to bear no net burden of abatement.

In practice, the performance of emissions trading schemes has varied widely. The sulfur dioxide trading scheme operated by the Environmental Protection Agency in the United States is thought to have been quite successful,[7] whereas numerous other trading schemes have been plagued with various problems that restricted the attractiveness or feasibility of trading, thereby reducing the cost-saving potential of the approach.[8]

In recent months, the European Union has formalized its proposals to limit the emissions permit purchases on a nation-by-nation basis to some formula-determined proportion of reference emissions. The intent is to ensure that all nations meet at least a certain proportion of their emissions reductions domestically. It could be expected that such limitations would increase the global cost of compliance, perhaps seriously, depending on the severity of the trading restrictions.

Even if international trading is not restricted, schemes with international trading are unlikely to be cost-effective for a range of reasons related to the domestic compliance plans adopted by individual nations. Previous experience with project-by-project trading, for example, suggests that the overhead costs of identifying possible trading opportunities and verifying their parameters has dramatically restricted the volume of trades (and hence cost savings). Further, if domestic schemes (whether permits or carbon taxes) are only applied to specific sectors such as the most pollution-intensive ones, some cost-saving trades will be prevented.

Confining compliance to the most pollution-intensive sectors may seek to reduce administrative costs of monitoring large numbers of small emitters. In this case, industries with low energy intensities might be exempted, with the idea of focusing abatement efforts on the biggest emitters. The opposite logic (exempting the most pollution-intensive sectors) have been motivated by the argument that such restrictions are "too" costly for firms in such sectors.[9] Taken to the logical extreme of exempting all but the least pollution-intensive sectors, this can dramatically increase the cost of attaining a given emissions target.

In all of these cases, domestic restrictions will raise compliance costs by eliminating incentives for some class of emitters. A recent working paper highlights some of the analytical and implementation issues arising when different nations adopt different domestic policy approaches.[10]

2. PREVIOUS RESEARCH

We begin by very briefly summarizing some key points from the literature on reduction of greenhouse emissions by OECD and/or Annex B countries.

2.1 GDP Impacts

A recent survey[11] gives an overview of the GDP consequences for Canada of stabilization of energy-related greenhouse gas emissions at 1990 levels, a somewhat smaller reduction commitment than Canada's Kyoto target.[12] Three types of models have been used to evaluate the costs of reducing energy-related emissions of greenhouse gases. Computable General Equilibrium (CGE) models are micro-based simulation models that (among other things) take account of the sectoral reallocation of resources in response to a given policy initiative. They stress the way in which policies are likely to affect the economy's medium- to long-run equilibrium. They are sometimes referred to as Top Down Models (TDM) since their representation of energy technologies are more schematic than others, especially Bottom-up (BU) models. BU models typically begin with a very detailed treatment of energy technologies and have somewhat schematic representations of the economy as whole. They trace out the consequences of various policies by determining the mix of technologies that is viable given the policy. Finally, macroeconomic models focus on the disequilibrium or cyclical movements in the economy, and as such stress how policy is likely to impact on the economy's movement towards or away from equilibrium.

The range of estimates from the three types of models is represented in Table 2.1. These GDP losses are as of 2010 in most cases.

Table 2.1
Range of Model Results

1990 Stabilization			
	Range		
Variable	**CGE**	**BU**	**Macro**
GDP loss in 2010 (%)	0.5–1.8	0*–0.5	0.4–2.3

* Some suggest GDP gains.

With one exception, these studies ignore the possibility of global trading of permits. In most cases, these are GDP effects versus welfare effects, since many of the models are incapable of calculating welfare effects. The DRI (1997) model is a macroeconomic model.[13] It reports GDP losses in lieu of welfare losses, and the GDP loss ranges from 1.5–1.7 percent of GDP for stabilizing emissions at 1990 levels by 2010. McKitrick (1997) uses a CGE model and finds that GNP can rise or fall as a result of stabilizing emissions at their 1990 levels by 2000.

An environmental tax is said to imply a double dividend when it not only gives incentives to reduce emissions (thereby correcting a pre-existing distortion), but even does so at a negative cost by allowing other taxes to be reduced. For example, if payroll taxes in an economy were high, they could discourage employment, imposing an economic cost. If an environmental tax generated sufficient revenue to allow these payroll taxes to be reduced, the economy could, in principle, expand as a result. McKitrick's finding of a welfare gain hinges on a sizeable double dividend driven by a somewhat high labour supply elasticity.

Table 2.2
Selected Model Results: Kyoto Protocol at 2010

		Carbon Tax ($/tonne)		Welfare/GDP (percent)	
Model	**Region**	**No Trade**	**Global Trade**	**No Trade**	**Global Trade**
SGM	Canada	US_{92}$ 350	US_{92}$ 26	n.a.	–0.5
AIM	Canada	US_{95}$ 180	US_{95}$ 40	n.a.	n.a.
MS-MRT	Other OECD	US_{95}$ 249	US_{95}$ 31	–0.9	–0.3
GTEM	Canada	US_{92}$ 835	US_{92}$ 114	–2.2	–0.2
G-Cubed	Other OECD	US_{95}$ 261	US_{95}$ 61	–1.2	–0.6

Other studies which look at permits normally find that international trading of permits can reduce compliance (GDP/welfare) costs. This reduction is very significant if global trading is permitted, and more modest if trading is limited to Annex B countries. An exception to this is the DRI (1997) study which finds losses significantly higher with internationally traded permits, even given a very modest assumed carbon permit price.

A recent special volume of the *Energy Journal* includes several revised model estimates of the impact of Kyoto Protocol Compliance on Canadian welfare and/or GNP. In one case to be discussed, a similar model gives results for a region composed of the OECD, Australia and New Zealand. Selected results are shown in Table 2.2. The results of unilateral abatement (no trading) range from a –0.9 percent reduction in the case of MS-MRT (for "Other OECD") to a 2.2 percent reduction in the case of the GTEM model.[14] With full global trading, the range is from –0.2 percent (GTEM) to –0.6 percent (G-Cubed) (for other OECD). Crucially, all studies find that global trading dramatically reduces the welfare or GNP costs of compliance.

2.2 Permit Prices

Studies of unilateral carbon dioxide emissions reductions look at the size of the carbon tax required to achieve a given emissions target independently in each country. Countries are assumed to do all abatement within their own borders. As discussed above, in many studies carbon taxes are equivalent to the permit price.

Such studies rank Canadian carbon taxes for a given experiment from among the very lowest to among the very highest in the world. More recent studies tend to place Canadian permit prices somewhat higher than those of the United States, but lower than those of Japan or Western Europe. A partial listing is presented in Table 2.3. Wherever possible the taxes correspond to those expected to prevail in 2010.

Most studies find that Canada will face one of the higher marginal costs of reducing CO_2 emissions. This is often attributed to the following key factors:

1. Canada already has relatively little reliance on coal. Typically, one of the lowest cost ways of reducing CO_2 emissions is by switching from coal to natural gas, notably in electricity generation. Because of its modest reliance on coal, Canada can only achieve modest emissions reductions even by dramatically cutting coal consumption. About 20 percent of Canada's CO_2 emissions in 1995 came from coal. This compares with an average for Western European countries of over 30 percent, and nearly 40 percent for the United States.

Table 2.3
Selected Model Results: Carbon "Taxes"

Canadian Carbon Tax with No International Trading ($/tonne)			
Study	**Case**	**Tax**	**Rank**
McKitrick, 1997	1990	C_{95} 20	(at 2000)
DRI, 1997	1990	C_{90} 325	Low
Kainuma et al., 1998	Kyoto	US_{92} 150	High
Rutherford, 1998	Kyoto	US_{95} 225	High
McKibbin et al., 1998	1990	US_{95} 213	High
Tulpulé et al., 1999	Kyoto	US_{92} 835	High
International Permit Trading ($/tonne)			
Study	**Case**	**Tax**	**Trading**
Nordhaus and Boyer, 1998	Kyoto	US_{90} 11	Global
Edmonds et al., 1997	Kyoto	$US_{9?}$ 26	Global
Kainuma et al., 1998	Kyoto	US_{92} 50	Global
McKibbin et al., 1998	1990	US_{95} 91	OECD
Tulpulé et al., 1999	Kyoto	US_{92} 114	OECD

2. Canada already relies heavily on hydroelectric power. Further, Canada's ratio of non-carbon electricity (nuclear plus hydro plus renewable) is projected to be among the highest in the world by 2010 at nearly 70 percent in the absence of any Kyoto-related actions.[15] If one further believes that there is limited scope for further expansion of hydroelectric or nuclear power, this restricts the ability to reduce emissions.

ABARE's GTEM model yields the highest Canadian carbon tax at $835 per tonne of carbon. This model assumes that no additional nuclear or hydro capacity is feasible. The next highest Canadian carbon tax is from the DRI (1997) study and it effectively makes the same assumption.

2.3 Sectoral Impacts

There is relatively little detailed analysis of the sectoral impacts in Canada of reducing greenhouse emissions. Table 2.4 shows the percentage changes in sectoral output from three of DRI (1997)'s relevant scenarios. The sectors denoted † correspond to those with the highest value share of energy products in their costs. Those denoted ‡ are those with the lowest value share of energy products in their costs.[16]

The labels for the experiments are as follows:

1990 Reduction of emissions to 1990 levels by 2010.

–10% Reduction of emissions of 10 percent below 1990 levels by 2010.

IPT Reduction of emissions to 1990 levels by 2010 with international trading of permits among Annex B nations.

Table 2.4
Sectoral Effects from the DRI Study (% change)

	1990	–10%	IPT
Agriculture †	–0.6	–1.3	–0.9
Forestry	–0.1	–0.5	–0.6
Fishing and Trapping	0.0	0.0	0.0
Metal Mining	1.2	1.4	–0.2
Non-metal Mining †	–1.6	–2.9	–1.1
Mineral Fuels	–7.0	–8.2	–1.5
Mining Services †	–1.9	–4.8	–1.0
Food, Beverage and Tobacco ‡	–0.2	–0.8	–0.9
Rubber and Plastics †	–1.6	–3.6	–1.8
Leather, Textile and Apparel ‡	0.8	1.8	–0.3
Paper and Allied	–0.4	–1.1	–0.9
Printing and Publishing	–1.2	–3.0	–2.1
Chemicals †	–1.1	–1.9	–0.4
Petroleum and Coal Products †	–15.3	–19.7	–6.3
Wood	–2.7	–5.1	–2.6
Furniture and Fixtures	–3.7	–7.3	–4.1
Primary Metals †	–0.5	–1.2	–0.7
Fabricated Metals	–1.8	–3.7	–1.9
Machinery ‡	–3.1	–5.2	–2.3
Transportation Equipment ‡	–0.5	–2.9	–2.1
Electrical Products ‡	–3.6	–7.8	–3.6
Minerals except Metals †	–1.8	–5.2	–5.0
Miscellaneous Manufacturing ‡	–0.1	–0.5	–0.5
Construction ‡	–2.4	–5.8	–3.5
Transportation and Storage	–0.1	–0.5	–0.5
Communications	–2.3	–3.6	–1.3
Electrical Power †	–3.0	–2.7	–1.5
Other Utilities	–13.1	–17.5	–4.8
Retail Trade	–2.4	–5.0	–2.4
Wholesale Trade	–4.2	–7.7	–3.3
Finance, Insurance and Real Estate	–1.5	–2.8	–1.4
Other Services ‡	–0.6	–1.6	–0.9
Economy Aggregate	–1.7	–3.2	–1.5

† Sectors with the highest value share of energy products in their costs.
‡ Sectors with the lowest value share of energy products in their costs.

It seems clear that the sectoral effects reflect much more than just the initial energy value shares. An important influence on these sectoral impacts is the disposition of revenues earned by industries which receive permits free of charge in the 1990 and –10 percent scenarios. In these cases, output of an energy intensive sector may not fall as much (or indeed may rise) as a result of a share of permit revenues being spent on new investment.[17]

Some discussion of the sectoral impacts on the OECD countries of Kyoto compliance appears in Manne (1998). This work is preliminary, but indicates that the United States and Japan (initially significant net exporters of energy-intensive manufactures) might experience increased export competition from non-Annex B countries.

2.4 Overview

This overview of studies suggests a range of both carbon taxes and welfare losses associated with Kyoto compliance. Many of the studies suggest that the problem of reducing carbon dioxide emissions will be relatively difficult for Canada. Among OECD countries, Canada is relatively energy-intensive, but not quite as carbon-intensive because of low reliance on coal and very heavy reliance on hydroelectricity. Unfortunately, both of these factors may make the challenge of reducing emissions that much greater. One of the lowest-cost ways to reduce CO_2 emissions is to reduce the amount of coal used in generating electricity. Half of the electricity in the United States is generated using coal. The corresponding figure for Canada is roughly 7.5 percent. As a result, there is limited scope for low-cost "abatement."

Because Canada already derives such a high share of energy from hydroelectric power, Canada has low initial input shares of "carbon" in the electricity sector. To reduce emissions from electricity generation would require an expansion of non-fossil generating capacity. Unfortunately, it seems unlikely that Canada can realize a net expansion of non-fossil generating capacity at rates comparable to today's.

3. THE MODEL AND DATA

3.1 Non-technical Sketch of the Model

This section provides a very brief non-technical look at the model. More details can be found in the following section and in the model documentation.[18]

MRT-C is a conventional static CGE model based on Tom Rutherford's GTAPinGAMS model.[19] CGE models represent the world economy in terms of interrelated supply and demand relations for goods and primary factors of production like labour and capital.

The model is first used to construct a 2010 business-as-usual (BAU) equilibrium. The endowments of capital, labour and resources of the regions in the model are increased in line with available forecasts of economic growth to 2010. Carbon emissions in the BAU scenario also hit available forecasts of 2010 emissions. The BAU "equilibrium" is then perturbed by introducing a given Kyoto experiment. The various effects are reported *relative* to the BAU scenario. More details on the BAU scenario are available in Appendix C.

When carbon taxes are introduced into such a model, the taxes drive up the consumer costs of goods depending on their carbon content. As a result, relative prices of goods from different sectors change within a country based on their carbon content. Relative prices of goods between countries depend on the relative energy and carbon content of goods between countries *and* on whether or not the goods in question are subject to some type of carbon tax or a similar instrument.

Depending on the type of carbon policy instrument used, government revenue may also rise. This will affect household incomes because tax revenues are normally passed on to consumers in this study.

The CGE model uses existing data about the patterns of inputs used by different sectors and the resulting cost shares to simulate the impacts of a given policy change within one country and between countries. Goods are traded internationally, initially reflecting observed data on international trade by commodity.

The combination of these relative price and revenue effects will also affect the markets for primary factors (labour, capital and resources). Typically, the value of resources usable only in the production of a heavily-taxed good is likely to fall as a result of the tax. This is likely to be the case, for example, for resources used only in the coal sector of a country complying with the Kyoto Protocol. For factors (like labour) that are assumed to be mobile between sectors, the effects of these relative price and revenue effects is often hard to anticipate.

Finally, these impacts on factor markets have feedback effects on goods markets. This further complicates the task of predicting the direction of change of a given sector's output caused by a given policy. The G in CGE corresponds to General equilibrium, the process by which these myriad influences are resolved to find a new equilibrium.

MRT-C is a static model, which means that it does not model the process of capital accumulation, investment or depreciation. Dynamic models, which explicitly account for intertemporal decisions about investment, are normally preferred for looking at policy questions like global warming where a long time

horizon is relevant. Regrettably, it is difficult to reliably solve intertemporal models with the level of sectoral detail desired in this study.

3.1.1 Energy Use

Within the model, energy use in production and final demand is described in some detail. In production, there can be substitution between energy and primary factors or other goods as input. There is also significant possibilities to substitute between energy sources. Energy users pick the mix of energy sources they will use depending on relative prices.

The final and intermediate users of energy substitute between fossil fuels and electricity based on their relative prices. In turn, they choose between the various types of fossil fuel. Once again, the input proportions they employ depend on relative prices. Because coal is almost pure carbon, carbon taxes tend to be highest (per BTU) on coal and lower on refined petroleum products. The proportionate tax on natural gas depends on its original cost per BTU. Since natural gas may be cheaper per BTU than coal or oil, it may end up having a high carbon tax (as a proportion of value) even though natural gas has relatively low carbon emissions per BTU.

3.1.2 Electricity Generation

There are three electricity generating sectors in each region in the model. One generates electricity using fossil fuels. A second sector includes hydro, nuclear and other types of non-fossil electricity generation in use at present or likely to be adopted in the BAU case. There is a third "backstop" electricity sector which produces electricity completely free of greenhouse emissions. This sector is not profitable in the BAU scenario, but comes available once carbon taxes are high enough.

In the Kyoto experiments, the non-fossil electricity sector is assumed to be constrained by either hydro capacity or public resistance to the expansion of nuclear energy. Since one easy way of reducing carbon dioxide emissions is to switch between fossil and non-fossil electricity generation, the capacity constraints limit the ability of a region to reduce emissions by expanding non-fossil generating capacity.

The capacity constraints assumed for non-fossil electricity generation are shown in Table 3.1. They are expressed as proportions of the model's 1995 non-fossil electricity generating capacity. They are based on projections from the International Energy Agency (IEA) (1998) except for Canada, where a value of 1.0 has been used based on the analysis presented in Energy Forecasting Division (1998) and informal discussions. For several regions, the projected expansion of non-fossil capacity will not be enough to outstrip likely retirements of nuclear generating capacity.

By contrast, the backstop electricity sector has no capacity constraint, but has significantly higher costs than the fossil or non-fossil electricity sectors. The input shares of the backstop sector are the same as the non-fossil electricity sector, but the costs per unit of output are 67 percent higher.[20]

3.2 Technical Overview of the Model

1. All produced goods except three services are tradeable.[21] Cross-hauling (the simultaneous import and export of a given good by a country) is accommodated by the Armington specification. Substitution between domestic and imported goods occurs at two levels. There is, first, substitution between imports from alternative foreign sources. Subsequently, there is substitution between the composite of imports and domestic goods.

2. Benefits from reductions of either greenhouse gases or conventional air pollutants are not modelled. In other words, neither clean air nor an unchanged climate is valued *per se* by households. The analysis only captures the indirect welfare impact of the Kyoto Protocol via its effects on costs of production and real incomes. As a result, Kyoto compliance would always be expected to generate a welfare loss in this model. A loss must be compared to the value of benefits likely to accrue from reduced climate change.

3. The specification of energy use is relatively simple. Energy is produced as a constant elasticity of substitution (CES) composite of the fossil fuels composite and electricity. The fossil fuels composite is a CES composite of fossil fuel types (coal, refined petroleum products and natural gas).

4. Production involves energy intermediate inputs, non-energy intermediate inputs and primary factors (capital and labour). There are fixed input proportions of primary inputs and an energy-primary factors composite. Intermediate energy is substitutable for capital and sector-specific factors in a CES composite. This composite is in turn substitutable with labour. The elasticity of substitution between energy and capital (reported below) is referred to as SUBEV. The elasticity of substitution among this energy-capital composite and labour is referred to as SUBVA.

5. There is no possibility for a significant double dividend. There are no factor taxes in the GTAP data and, at this time, there is no labour supply decision in the model. The GTAP data incorporates detailed information on commodity taxes and border measures, but not on factor taxes.

6. All policies are implemented as permit schemes, with initial endowments of permits assigned to each region's representative consumer. Permits are in no sense captive to an industry. In other words, revenues from selling permits allocated to an industry are not added to a sector's revenue. Instead, they accrue to the region's representative consumer (as owner of the permits).

7. While the electricity generated is identical, electricity generation from fossil fuels (denoted ELY) is distinct from the process of generating electricity without fossil fuels (denoted NFE) which is in turn distinct from the backstop technology (denoted BST).

8. The model has a carbon-free backstop technology for generating electricity without any carbon. This carbon-free electricity generating technology is not used in the business-as-usual case because it is too expensive. In some of the experiments considered, the backstop technology comes into production.

9. The model does not assume any explicit autonomous energy improvement, although this is implicit in the interpretation of the BAU scenario. The BAU scenario generates carbon emissions increases close to the growth rate of GDP. The emissions play no role in determining the BAU, so they are rescaled to hit the IEA/NRCan targets. The central case Kyoto Protocol experiments thus correspond to eliminating a percentage gap in emissions, based on the IEA and NRCan projections. The central case emission gaps are listed below in Table 3.2. The disadvantage of this approach is that it precludes us from doing sensitivity analysis of differential economic growth, unless we use an exogenously specified linkage between economic and emissions growth.

Table 3.1
Non-fossil Electricity Capacity Constraints*

CAN	1.00
USA	1.00
JPN	1.05
EUR	1.05
OOE	1.05
CHN	3.16
FSU	1.17
CEA	1.05
ASI	1.85
MPC	1.85
ROW	1.85

* Ratio of maximum capacity to BAU production of non-fossil electricity. See Appendix A for a description of the regional and commodity aggregations.

Table 3.2
Kyoto Protocol "Gaps"*

Japan	27.285
Canada	24.725
USA	29.450
CEA	18.136
FSU	–14.284
EUR	27.051
OOE	27.119

* Required percentage reduction in emissions relative to BAU. For FSU, the Kyoto commitment *exceeds* BAU emissions. See Appendix A for a description of the regional and commodity aggregations.

3.3 Sectoral Analysis: Background

The pattern of sectoral impacts of Kyoto compliance depends on a large number of factors, but a few are obvious determinants:

1. *Carbon (and energy) intensity relative to other industries in Canada*[22] — This is most important if compliance requires all abatement to take place in Canada.[23] In this case, a main avenue for compliance will come from shifting production from more energy-intensive sectors to less energy-intensive ones.

2. *Carbon (and energy) intensity relative to same industry in our major import suppliers and export markets* — This may be as important or more important when abatement is global in scale and particularly when traded goods are close substitutes for domestic goods. In most cases, Canada's primary export market and import supplier is the United States. If a given Canadian industry has a higher energy cost share than the corresponding U.S. industry, then when both countries are reducing carbon emissions imports will tend to rise and exports will tend to fall, both leading Canadian output to fall.

3. *Compliance status of trading partners* — If compliance causes export markets to experience reduced real incomes, this will tend to cause Canadian exports to fall. Reduced incomes abroad may also contribute to lower supply prices of imports to Canada.

As carbon restrictions are applied (either through permits or taxes) the user cost of both carbon-based and carbon-free energy are expected to rise. Canada tends to have relatively high energy intensities but (because of high shares of hydroelectricity) relatively low initial carbon intensities. It seems that carbon taxes would cause Canada to become more competitive relative to the United States because the Canadian economy initially has a low carbon intensity. This impact can easily be offset by our higher energy intensity which comes to the fore as a result of carbon and non-carbon energy cost increases caused by Kyoto restrictions.

While these factors are important in understanding the pattern of sectoral impacts, it must be remembered that a key feature of the model and data is that large shares of produced goods are consumed as intermediate inputs. The most energy-intensive sectors (iron and steel, plastics, mining, etc.) produce goods which are primarily intermediate inputs. As a result, the pattern of sectoral effects may also depend significantly on a complex web of interdependency. A sector which might be expected to decline because of a high energy intensity, for example, might expand if the sectors which buy its production expand because of compliance. CGE models are used because they can, in principle, take into account all of these linkages. Unfortunately, the inherent complexity of the linkages may make some specific sectoral results difficult to explain.

Table 3.3 presents selected information relevant to the energy intensity and "openness" of each of the sectors considered in this analysis. Note that (as all subsequent "sectoral" tables) the non-energy sectors are ordered from those with the highest value share of energy in total cost (OMN or other minerals mining) to the lowest (WAP or wearing apparel). The energy sectors conclude the table.

Sectoral tables will normally include results for the fossil fuel electricity sector (ELY), the non-fossil electricity industry (NFE) and the backstop electricity sector (BKS). There are no trade effects listed for the NFE or BKS sector, since the changes in trade listed in the ELY row will include trade changes for the homogeneous good electricity.

Table 3.3
Energy Costs for Canada and its Competitors

Sector*	Share	X/Q	X-Diff	M/Q	M-Diff
OMN	7.2	40.5	–	17.1	–
CRP	5.9	34.4	+	39.9	+
I-S	5.3	25.1	–	25.2	–
AGR	4.8	49.0	+	25.4	+
NMM	4.1	20.7	+	27.4	+
LAP	3.7	17.3	+	4.0	+
NFM	3.3	69.1	–	20.9	–
PPP	3.2	42.4	+	10.9	+
T-T	3.2	5.5	+	7.3	+
GDT	3.0	n.a.	–	n.a.	n.a.
WTR	2.9	n.a.	–	n.a.	n.a.
TEX	2.3	21.4	+	43.1	+
OSP	1.9	4.0	+	6.8	+
LUM	1.7	51.9	+	11.7	+
FRS	1.6	1.6	+	3.4	+
FMP	1.4	20.0	+	28.0	+
OMF	1.2	32.9	+	89.4	+
CNS	1.2	n.a.	=	n.a.	n.a.
PFD	1.1	16.3	+	14.1	+
OTN	1.0	45.9	+	33.9	+
OSG	1.0	3.4	+	2.5	+
OME	0.9	64.3	=	122.3	=
ELE	0.8	47.6	=	60.8	=
LEA	0.7	28.0	=	157.7	–
MVH	0.7	74.9	=	50.0	=
WAP	0.6	14.3	=	35.3	=
COL	6.9	75.8	–	16.3	–
CRU	1.8	49.9	=	21.0	–
GAS	1.5	53.7	–	1.3	–
P-C	4.5	13.0	–	6.9	–
ELY	7.6	4.1	–	0.0	n.a.

* See Appendix A for a description of the regional and commodity aggregations.
Share: Energy share of total cost
X/Q, M/Q: Exports (Imports) as a percentage of total production
X-Diff, M-Diff : Energy cost share advantage or disadvantage versus major export market (X) or import competitor (M)
+ Canada's energy cost share is higher
– Canada's energy cost share is lower
= Energy cost shares are within 20 percent

4. ANALYSIS OF KYOTO COMPLIANCE

In this section, we look at variants of two core experiments aimed at reducing emissions of carbon dioxide from fossil fuel burning in line with Canada's Kyoto commitments. These commitments require that Canada reduce fossil fuel-related carbon dioxide emissions to 94 percent of their 1990 value from BAU values for 2010, either by emissions abatement within Canada or by supporting abatement elsewhere. This reduction amounts to almost 25 percent of Canada's 2010 BAU emissions. Unless otherwise stated, all results are presented relative to the business-as-usual reference case described briefly in Appendix C.

Two core experiments are considered:

NCP *National Carbon Permits* — In this experiment, each Annex B country or region of the model is bound to reduce its emissions of carbon dioxide from fossil fuel burning in line with its Kyoto commitments. This is achieved through a system of carbon emissions permits. The permits are all sold at auctions and apply to all burning of fossil fuels within the country. Intermediate, final and government uses of fuels are all subject to permits.

GCP *Global Carbon Permits* — In this experiment, each Annex B country or region of the model is bound to reduce emissions of carbon dioxide from fossil fuel burning in line with its Kyoto commitments. It can do so through any combination of domestic emissions reductions and purchases of permits. In turn, non-Annex B countries which reduce their emissions can sell permits equal to the difference between their allowance and their actual emissions.

Each Annex B country is given an allowance of permits corresponding to its Kyoto target emissions. Each non-Annex B country is given an allowance (effectively an endowment) of permits equal to its projected BAU emissions. Each nation's allowance (or endowment) of permits is sold at auctions and permits apply to all burning of fossil fuels. Intermediate, final and government uses of fuels everywhere are subject to permits.

In these core cases, the presumption is that the domestic implementation (through a universal carbon tax or universal carbon permits) is cost-effective given their national scope. National carbon taxes or national permit schemes will give incentives to equalize the marginal abatement cost of each abating polluter within the country.

We then turn to some scenarios where various aspects of the scheme are *not* cost-effective. In one case, we consider sectoral exemptions and in another we consider the departures from cost-effectiveness resulting from various imperfections in the international trading regime.

4.1 National Permit Schemes

If nations were required to meet their Kyoto abatement target purely by reducing domestic emissions, this could be achieved by an emissions trading scheme. Each user of fossil fuels would require permits proportional to the carbon (and hence CO_2) content of fossil fuels to be burned. As mentioned above, in this model the policy is formally modeled as a tradeable permits scheme, but it can be viewed as a carbon tax scheme as long as the revenue from carbon taxes, the proceeds from the sale of permits, and the rents from selling excess permits all accrue to the same consumer.

Table 4.1
Summary Table for NCP

	Welfare Cost ($B)	Welfare Cost (%)	Carbon Emissions (%)	Carbon Price ($)
CAN	-7.02	-1.13	-24.73	255.12
USA	-52.01	-0.60	-29.45	231.16
JPN	-48.03	-1.09	-27.28	1,238.60
EUR	-126.02	-1.21	-27.05	930.96
OOE	-3.21	-0.72	-27.12	147.69
CHN	-6.28	-0.39	1.64	0.00
FSU	2.78	0.60	3.39	0.00
CEA	-1.10	-0.30	-18.14	96.13
ASI	-3.70	-0.24	1.92	0.00
MPC	-10.68	-0.72	1.81	0.00
ROW	-1.92	-0.06	1.57	0.00
WLD	-257.17	-0.78	-11.54	0.00

A summary of the effects of a cost-effective scheme of "national" carbon taxes or carbon permits is presented in Table 4.1. In this table, dollar figures denoted $B are in billions of 1995 US dollars. Carbon prices are all quoted in 1995 US dollars per tonne of carbon.

The welfare losses to Canada are among the highest of all regions in percentage terms but are still rather modest. Canada loses roughly 1.1 percent of its GDP. As mentioned above, it could be expected that Canada's welfare effect might be high (somewhat like Japan's) because Canada has relatively little opportunity to abate cheaply. An added factor affecting Canada is the change in the producer's price of fossil fuels.

As already indicated, two inexpensive ways of reducing emissions are substituting away from coal in energy use, or expanding hydroelectric capacity. Canada already uses very little coal (notably in electricity generation) and has very limited opportunities to substitute away from coal. Similarly, the assumption underlying this analysis is that there is no net addition of hydroelectric capacity possible, removing another low-cost option for abatement.

Terms of trade effects also contribute to high welfare costs for Canada (in percentage terms) relative to other regions. Other regions with higher carbon taxes (Japan and Europe) are large net importers of fossil fuels, whereas Canada is a small net exporter. As a result of abatement in Annex B regions, the world price of fossil fuels is reduced. This cuts the losses of regions which are large net importers of energy (including the United States) but increases the losses of Mexico and OPEC and, to a much lesser extent, Canada. U.S. losses are modest in percentage terms because that country initially burns a lot of coal and may also benefit from the terms of trade effects resulting from cheaper world prices of fossil fuels.

The required carbon tax is over $250. This places Canada's carbon tax higher than all others except those in Japan and Europe. The Canadian carbon tax is slightly higher than that of the United States. This relative ranking of carbon prices is due to the factors described above.

Compliance with these Kyoto emissions targets leads to a reduction in global emissions of over 11 percent. Non-Annex B regions increase their emissions. This "leakage" comes via a number of avenues. Among the causes are that fossil fuel products fall in price on world markets, and that

production of energy-intensive goods rises outside of Annex B countries as their prices rise. The Rest of World (ROW) region's emissions rise by about 2 percent.

A number of features of this model distinguish it from some others used to analyze Canadian Kyoto compliance. A short discussion of how our results differ from three key studies follows.

McKitrick When MRT-C is used to model 1990 stabilization, the welfare loss is about 0.5 percent, similar to McKitrick's finding of 0.8 percent if a carbon tax is not used to reduce factor taxes. This is probably the closest experiment to the assumptions used in this study.

MS-MRT Published results for "Other OECD" in Bernstein et al. (1999) are quite similar to the results presented in this study. Private communications suggest that the welfare losses and carbon taxes from the version of the MS-MRT model which identifies Canada are somewhat higher.[24]

DRI The Standard and Poor's DRI study has GDP losses for Canada of a similar magnitude to those presented here, but that study looks only at 1990 stabilization. It is difficult to compare the results of the models since the DRI model is macroeconometric in nature. In the DRI model, patterns of investment are endogenous and driven by (among other things) sectoral cash flows. As a result, the most heavily restricted sectors often expand in that analysis, potentially increasing GNP losses. Also, as pointed out in Bernstein et al. (1999), GNP and welfare estimates need not correspond.

Some limited sensitivity analysis of our core results is presented in Appendix D.

While the welfare and carbon tax results are sensitive to a number of parameters, a key parameter is the costliness of the carbon-free electric technology. A short summary is presented in Table 4.2. In the central case results, the backstop technology is assumed to have a 66 percent cost disadvantage over fossil fuels. If one could argue that such backstop technologies could come online for very close to the projected cost of fossil electricity, the costs of Kyoto would be even lower than 1 percent of GNP.

Table 4.2
Sensitivity to Backstop Technology

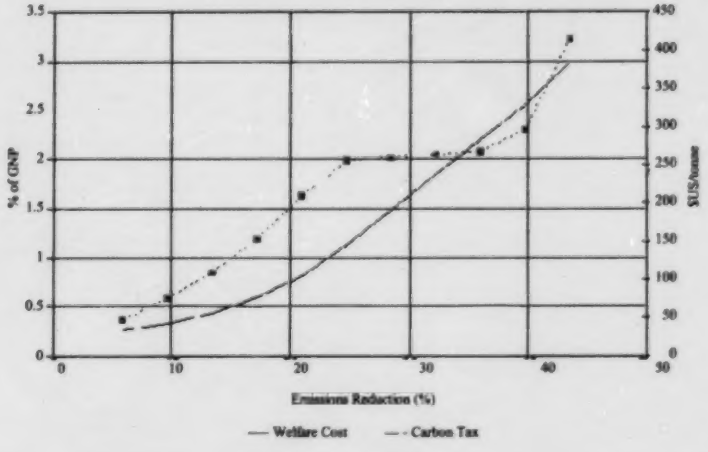
	Cost Disadvantage (%)		
	33.3	66.6	86.0
Canadian Welfare (%)	−1.01	−1.13	−1.13
Carbon Tax ($US)	186	255	279
Backstop Sector Share (%)	73.3	4.1	0

Other key parameters include the ease of substitution between fossil fuels, the ease of substitution of primary inputs for energy, and the trade elasticities. These trade elasticities determine the degree of competitiveness between domestic and foreign products.

4.1.1 Depth of Emissions Reduction

To give some sense of the relationship between the depth of emissions reduction, and the welfare costs and carbon taxes required, the model was used to evaluate alternative depths of emissions cuts in Canada. A curve relating emissions reductions to welfare costs and carbon taxes is described in Figure 4.1. In these experiments, all other Annex B nations are assumed to reduce emissions in line with the central case.

Figure 4.1
Welfare Cost and Carbon Tax



The figure shows that the welfare cost increases (at an increasing rate) as the percentage reduction from BAU emissions rises. The welfare cost hits 2 percent of GNP at a reduction of roughly 35 percent from BAU. Recall that the Kyoto target for Canada is to reduce emissions by roughly 25 percent.

Figure 4.1 also illustrates the important role of the backstop technology. Carbon prices reach $250 at roughly 25 percent emissions reduction and remain close to that level until the emissions reduction reaches 35 percent, after which the carbon price begins to rise quickly. It would seem that once carbon prices are high enough to bring the backstop technology on-line, subsequent abatement takes place through progressively replacing fossil fuel electric capacity with backstop capacity. Once there is no electricity generated using fossil fuels, further abatement must take place in other sectors at a progressively increasing marginal cost. Note also that the horizontal section in the carbon "price" curve corresponds to a linear section of the welfare cost curve.

4.1.2 Sectoral Effects

The sectoral effects of a "national" scheme are summarized in Table 4.3.[25] High-carbon energy products suffer the most significant reductions in output relative to BAU. Output of energy products and the most energy-intensive products typically fall about 5 percent.

The non-ferrous metals sector (NFM) expands slightly even though it is energy-intensive. The reason is that it is one of the sectors which has an energy-intensity advantage over both our major import competitor and export market. Even so, its output expands very modestly (0.07 percent).

Table 4.3
Canadian Sectoral Table for NCP
(percentage)

	Production	Employment	Energy	Exports	Imports
OMN	–3.89	–1.89	–14.45	–7.34	0.44
CRP	–7.40	–3.87	–21.03	–9.46	–0.26
I-S	–4.15	0.44	–19.61	–9.36	3.28
AGR	–5.20	–3.70	–20.89	–7.90	1.03
NMM	–0.67	1.41	–15.23	–0.25	0.21
LAP	–1.05	0.36	–12.90	–3.71	0.89
NFM	0.07	1.64	–12.76	0.05	–0.60
PPP	–1.28	0.00	–13.52	–1.16	–1.80
T-T	–1.10	–0.16	–14.25	–1.98	–0.88
GDT	–1.98	–0.65	–22.47	0.00	0.00
WTR	–1.27	–0.41	–16.40	0.00	0.00
TEX	–0.69	0.50	–13.56	–1.59	0.25
OSP	–0.63	–0.12	–13.06	0.39	–2.17
LUM	–0.20	0.64	–12.41	–0.06	–1.41
FRS	–0.56	0.43	–15.45	–0.23	–1.51
FMP	–0.95	–0.32	–14.80	–1.68	–0.50
OMF	0.17	0.69	–13.46	2.30	–1.63
CNS	–0.31	0.28	–14.97	0.00	0.00
PFD	–0.23	0.35	–14.26	1.95	–2.38
OTN	1.53	1.93	–11.46	3.10	–0.47
OSG	0.82	1.00	–13.69	7.12	–2.29
OME	0.83	1.23	–12.23	1.08	–0.81
ELE	2.26	2.58	–11.29	3.16	–0.94
LEA	2.65	2.97	–10.28	5.19	–1.26
MVH	0.05	0.74	–13.20	0.37	0.06
WAP	3.55	3.75	–8.99	13.94	–4.76
COL	–6.95	–7.20	–20.23	7.31	–54.44
CRU	–3.57	–3.87	–16.01	–5.76	–23.71
GAS	–7.62	–8.69	–22.44	8.85	–51.90
P-C	–9.53	0.41	–17.31	8.97	–25.01
ELY	–20.51	–11.23	–33.89	–55.38	0.00
NFE	0.00	–0.22	n.a.	n.a.	n.a.
BKS	7.35	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

The other private services sector (OSP) declines by about 0.6 percent. It is somewhat more energy intensive than the government services sector (OSG) which grows by roughly the same percentage. The least energy-intensive industrial sectors expand by 2–3.5 percent in the case of electrical and electronic equipment (ELE), other transportation equipment (OTN), and leather and apparel (LEA and WAP).

It is difficult to explain the exact size of all the sectoral impacts because of complex linkages between the sectors within a country and within a sector internationally. The pattern of sectoral impacts is in line with the intuition that energy-intensive sectors are likely to decline most in response to compliance without trading. Indeed, for each 1 percent increase in the cost share of energy in total cost, the reduction in sectoral output is likely to be higher by more than 1 percent.[26]

In some cases, energy-intensive sectors may not decline or may decline less if they have an energy-cost advantage over the corresponding sector in our major trading partners for that good. Often the major trading partner is the United States. Finally, non-energy intensive sectors will face two important influences. Some of the capital and labour freed up by declining energy-intensive sectors will become available to other sectors. At the same time, total demand for all goods is likely to decline as a result of falling incomes in Canada and most of our major trading partners.

These results differ from the results of the DRI model in that the energy-intensive sectors do not expand. In contrast to the DRI model, permit revenues in this model are returned in a lump-sum fashion to the region's representative consumer. As a result, there is no incentive to increase investment or expand productive capacity of the energy-intensive sectors that might receive a large amount of permits.

Exports of most energy-intensive goods fall, notably electricity, whose exports are reduced by over 50 percent. Imports of all fossil fuels also fall markedly. Exports of coal and natural gas rise. In the case of coal, the increase in exports is driven by declining demand at home. In the case of natural gas, the increase in exports is driven by expanded U.S. demand for gas (likely as a substitute for coal).

The sectoral effects in the electricity sector show that the output of fossil electricity falls by about 20 percent. Of that reduction in output, roughly one third (7 percent) is replaced by "backstop" electricity. The remainder (roughly 13 percent) is a decrease in the total production of electricity. Much of this decrease shows up as reduced exports.

4.1.3 Sectoral Exemptions

In this section, we restrict the domestic coverage of the carbon tax or permit scheme in a number of ways in line with our earlier discussion. In the context of greenhouse gas abatement, policy makers might want to focus efforts on the most energy-intensive sectors to reduce administrative costs of a permit scheme. On the other hand, energy sector interests might argue that it is unfair to burden energy-intensive sectors with "crippling taxes." A number of considerations might lead to domestic policies that depart from cost-effectiveness in a number of respects.

Four experiments are considered:

NPA Final demand in Canada is exempt from permits or carbon taxes. Policy measures apply only to intermediate use of energy in Canada. All other Annex B nations use cost-effective domestic policies.

NPB Restrictions (permits or carbon taxes) are imposed only on intermediate use of energy in energy-intensive industrial sectors. The sectors covered are:

I-S	Iron and Steel
CRP	Chemicals, Resins and Plastics
OMN	Other Minerals
ELY	(Fossil) Electricity
T-T	Trade and Transportation
PPP	Pulp, Paper and Publishing
NFM	Non-ferrous Metals
LAP	Livestock and other Products

Final demand (consumption and government) as well as all other intermediate uses are exempt in Canada. All other Annex B nations use cost-effective domestic policies.

NPC Restrictions (permits or carbon taxes) are imposed only on intermediate use of energy in the *most* energy-intensive industrial sectors. The sectors covered are:

I-S	Iron and Steel
CRP	Chemicals, Resins and Plastics
OMN	Other Minerals
ELY	(Fossil) Electricity

Final demand (consumption and government) as well as all other intermediate uses are exempt in Canada. All other Annex B nations use cost-effective domestic policies.

NPD Restrictions (permits or carbon taxes) are imposed only on intermediate uses of energy in *non*-energy-intensive sectors. The sectors covered are those not covered in the NPB case. Final demand (consumption and government) is not restricted in Canada. All other Annex B nations use cost-effective domestic policies.

The welfare and carbon tax impacts of these various cases are considered in Table 4.4. A number of observations emerge from comparing these alternative schemes. First of all, the welfare cost tends to rise with the degree to which emissions reductions are narrowly focused on a subset of sectors. The NPA, NPB and NPC cases could be seen as progressions on the same theme, namely, focusing abatement where emissions are concentrated. Initially (exempting final demand) this is not too expensive, but eventually costs get very high. It is worth noting that the costliness of these three restrictive cases would be much higher if the backstop technology was unavailable. In the current results, as non-energy-intensive sectors are progressively exempted, the backstop sector can expand, effectively providing additional abatement at constant cost to make up for the abatement no longer required in exempted sectors. If the backstop technology was unavailable, these costs are likely to be substantially higher.

Experiment NPD involves exempting the most energy-intensive sectors. In this case, a significant amount of abatement is required from non-energy-intensive sectors. The welfare cost is quite staggering. While few people would take carbon prices over $8,000 a tonne very seriously, the results flag the difficulties likely to be experienced when focusing very narrowly abatement efforts.[27] More likely, such restrictions would make the Kyoto targets unachievable.

Table 4.4
National Schemes with Sectoral Exemptions

Experiment	Welfare	Carbon Tax
	(%)	($US95/tonne C)
NCP	–1.1	255
NPA	–1.3	259
NPB	–1.7	271
NPC	–2.0	388
NPD	–7.5	8,192

Sectoral Impacts: Sectoral Exemptions

The pattern of sectoral impacts is dramatically altered as sectors are included or excluded from coverage. The sectoral impacts associated with various policy alternatives are presented in Table 4.5. As abatement efforts are progressively focused on the most energy-intensive sectors (NPA → NPC), we note that output of the most energy-intensive sectors eventually fall by up to 16 percent. The output of the least energy-intensive industrial sectors (which tended to rise in the standard NCP experiment) tend to rise less as abatement is progressively focused on the most energy-intensive sectors.

There is some experience with *exempting* pollution-intensive sectors from restrictions when it is felt that compliance would cripple the industry. This case is illustrated in experiment NPD, where all energy-intensive sectors are exempted from compliance. In that case the welfare cost of over 7 percent is quite a bit higher than the opposite extreme policy (NPC, where *only* the most energy-intensive sectors are subject to the policy). This is due, in part, to the presence of the backstop energy technology. If the most energy-intensive sectors are subject to restrictions, the adoption of the carbon-free electricity generating technology allows a significant amount of abatement to occur at around $US 250 per tonne of carbon.

If energy-intensive sectors are exempt, as in experiment NPD abatement available by using the backstop technology remains untapped. In that case, the most energy-intensive sectors are predicted to expand significantly. Recall that in this experiment we are assuming that our trading partners retain cost-effective regimes, so the cost of their energy-intensive goods is rising.

Finally, permit costs also rise as abatement efforts are focused more selectively. In the extreme case where all abatement is required of the non energy-intensive sectors of the economy, the carbon taxes are astronomical. This is true in spite of the fact that the model does have a backstop technology for generating electricity. The availability of backstop technologies will only contain carbon taxes if users have an incentive to adopt them. With the wrong pattern of exemptions, some available technologies will not be used.

A final observation is that exempting "final" uses of energy (Case A) from restrictions seems to have very little impact on welfare and the carbon price. The defining feature of final demand is that there is a lower degree of substitution possible between energy and other goods than in intermediate use. As a result, the abatement done in final demand in the NCP case is not extensive.

In the case where final demand is exempted (NPA), the pattern of sectoral impacts seems like a slightly amplified version of those under the cost-effective scheme (NCP). The sectors that decline most tend to decline even more and the sectors that expand most expand even more.

Table 4.5
Sectoral Reallocation Effects for Canada

	Sectoral Output Level (% Change)				
	NCP	NPA	NPB	NPC	NPD
OMN	–3.89	–4.75	–6.69	–8.09	14.97
CRP	–7.40	–8.35	–10.00	–16.08	12.09
I-S	–4.15	–4.46	–5.37	–11.93	15.37
AGR	–5.20	–5.82	0.43	0.02	–74.27
NMM	–0.67	–1.24	5.15	4.38	–56.34
LAP	–1.05	–1.60	–1.83	–0.32	–14.59
NFM	0.07	–1.08	–4.60	1.03	47.24
PPP	–1.28	–1.70	–2.91	0.31	11.91
T-T	–1.10	–1.36	–1.80	–0.77	0.00
GDT	–1.98	–2.37	–1.44	–2.04	–16.67
WTR	–1.27	–1.68	–1.59	–1.73	–10.36
TEX	–0.69	–1.08	0.78	0.04	–29.97
OSP	–0.63	–0.90	–0.85	–1.01	–7.98
LUM	–0.20	–0.05	2.21	2.49	–29.51
FRS	–0.56	–0.61	0.90	1.69	–23.40
FMP	–0.95	–1.13	–0.30	–1.67	–14.49
OMF	0.17	0.09	0.85	0.10	–13.71
CNS	–0.31	–0.32	–0.19	–0.22	–3.02
PFD	–0.23	–0.85	–0.85	–0.58	–15.59
OTN	1.53	1.43	1.37	0.16	1.36
OSG	0.82	0.54	0.20	–0.17	–3.56
OME	0.83	0.77	0.74	0.08	1.60
ELE	2.26	1.86	1.18	0.86	6.64
LEA	2.65	2.75	1.91	1.54	12.28
MVH	0.05	–0.40	0.73	–0.96	–22.60
WAP	3.55	3.33	2.83	2.53	4.03
COL	–6.95	–8.55	–6.67	–7.40	–62.08
CRU	–3.57	–3.74	–3.20	–3.11	–13.98
GAS	–7.62	–6.01	–4.98	–4.61	–7.04
P-C	–9.53	–7.91	–2.08	0.00	–51.49
ELY	–20.51	–53.17	–83.56	–100.00	7.58
NFE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BKS	6.75	36.93	66.93	82.85	0.00

The changes to the pattern of sectoral impacts associated with various schemes of sectoral exemptions are fairly closely linked with the nature of the exemptions. When carbon restrictions apply only to energy-intensive sectors (NPB), the sectors covered decline dramatically more than in the cost-effective case or the case where final demand is exempted. With very few exceptions, the other sectors either decline less or expand more than under the no-exemption (NCP) experiment.

When all abatement efforts are concentrated on the most energy-intensive sectors (NPC case), those sectors decline at least by 8 percent. Exempted sectors tend to decline less or expand more, in some cases dramatically. The most dramatic change is in the fossil electricity sector, which shuts down completely. Electricity is all generated by hydro or backstop technology. The backstop technology replaces over 80 percent of the fossil fuel sector's production.

In the final case of sectoral exemptions considered, the exemptions are reversed relative to the previous cases. Here the energy-intensive sectors are all exempted with predictable results. Most of the energy-intensive sectors now expand, with many non-energy intensive sectors declining. This, of course, complicates the task of reducing emissions.

4.1.4 Summary: National Schemes

This section considers the impact of a national carbon tax or permit scheme adopted simultaneously by all Annex B regions. The key findings are:

- The predicted welfare costs are modest when a cost-effective strategy (broad-based carbon tax or permit scheme) is adopted.

- The sectoral shifts implied by a cost-effective carbon tax scheme involve energy-intensive sectors declining most and those that are least energy intensive expanding somewhat. In some cases, sectors which are energy-intensive expand when they have a lower energy intensity than the corresponding sector in our major import or export market.

- Restricting application to a subset of sectors can raise compliance costs, in some cases markedly. At the same time, limiting abatement efforts to carbon emissions associated with intermediate use (versus also imposing restrictions on final demand) seems to have relatively modest effects.

- In the case where the energy-intensive sectors are exempt from carbon taxes or the requirement to obtain permits, these sectors expand for a number of reasons.

    - The user cost of fuels has been driven down by the taxes imposed on non-exempted sectors.
    - Since only Canada engages in this folly, Canadian exports of energy-intensive goods (primarily to Annex B markets) expand and imports fall.

The welfare costs are very high and estimated domestic carbon taxes stretch the imagination. Indeed, they probably signal that the Kyoto target would be unachievable with such restrictions.

- While the welfare costs rise less dramatically when carbon policies apply only to the most energy-intensive sectors, the result depends on the availability of a non-carbon backstop technology. Without it, the costs of achieving the Kyoto target are likely to be very high.

4.2 Global Permit Schemes

Moving to global trading of permits dramatically reduces the "carbon tax" that Canadians face, and the welfare costs fall to less than one half what they would be under a national scheme.[28] With global trading, the same global emissions reduction is achieved, but a greater share of the abatement takes place in non-Annex B countries, where the abatement cost is initially lower.

For Canada, the welfare loss from compliance is reduced from about 1.1 percent to about 0.5 percent (see table 4.6). Canada buys emission permits from countries that can reduce their emissions at a lower cost than Canada. Canadian emissions now fall only 7.5 percent rather than 25 percent in the case where all Canadian abatement was done in Canada. The welfare loss for the United States also falls to about half the cost with no permit trading. Japan's welfare gain is very small in percentage terms. This is because Japan is a significant net importer of energy, and while it is very costly to reduce domestic emissions, Japan is paying much less for its imports of fossil fuels. Note that with global trading, Japan and Europe do very little domestic abatement. Their emissions both fall by about 3 percent relative to the BAU scenario. The welfare losses experienced by the oil exporters (Mexico and OPEC) fall from $10 billion to under $4 billion with global trading. In their case, terms of trade losses figure prominently in their welfare effects, and these are reduced significantly under the global permits scenario.

Table 4.6
Summary Results for GCP

	Welfare Cost ($B)	Welfare Cost (%)	Carbon Emissions (%)	Carbon Price ($)
CAN	-3.05	-0.49	-7.51	45.79
USA	-25.00	-0.29	-10.29	45.79
JPN	-2.14	-0.05	-3.20	45.79
EUR	-13.90	-0.13	-2.75	45.79
OOE	-2.84	-0.64	-12.67	45.79
CHN	4.09	0.26	-15.95	45.79
FSU	9.86	2.15	-17.06	45.79
CEA	-1.37	-0.38	-11.50	45.79
ASI	2.32	0.15	-14.87	45.79
MPC	-3.92	-0.27	-10.33	45.79
ROW	0.41	0.01	-12.87	45.79
WLD	-35.55	-0.11	-11.25	45.79

The other aspect of some interest is the size and nature of trading that would occur. These results are summarized in Table 4.7. All OECD regions end up purchasing emissions permits. Canada buys about 35 MT of carbon permits. The volume of permit purchases by Canada and the United States is very similar to the Second Generation Model (SGM) estimates (MacCracken et al., 1999). China and the Former Soviet Union (FSU) each provide a large number of permits. Trading is in megatonnes of carbon (MT), prices are in $US per tonne, and value is merely the product of the first two in billions of $US.

Several regions that sell emissions permits (China, Former Soviet Union and Asia) experience a welfare gain with global trading. In the case of the Former Soviet Union, the gain is roughly 2 percent of GNP. This is partially explained by the fact that the FSU's emissions allowance is expected to exceed its

2010 BAU emissions. As a result, the FSU can sell significant permits without doing any abatement. This favourable emissions allowance is often described as "hot air."

Table 4.7
Carbon Policy Summary for GCP

	Trading	Value	Price
	MT	$B	$/TC
CAN	-35.15	-1.61	45.79
USA	-345.89	-15.84	45.79
JPN	-96.09	-4.40	45.79
EUR	-288.73	-13.22	45.79
OOE	-15.80	-0.72	45.79
CHN	251.16	11.50	45.79
FSU	261.59	11.98	45.79
CEA	-16.19	-0.74	45.79
ASI	113.70	5.21	45.79
MPC	75.08	3.44	45.79
ROW	96.32	4.41	45.79

4.2.1 Sectoral Effects

With global trading of carbon permits, Canadian energy-intensive sectors tend to contract, but the contraction is normally much more modest than in the previous case where all abatement was achieved in Canada. Compared to the case with no international trading of permits, sectoral energy intensity is much less correlated with sectoral performance.[29] With no international permit trading, each 1 percent increase in the cost share of energy is associated with a reduction in sectoral output that, on average, is more than 1.5 percent higher. With trading, the impact of a 1 percent higher energy share falls to less than 1/3 percent. The sectoral results for Canada under GCP are presented in table 4.8.

This change in the pattern of sectoral impacts is related to trading. As carbon restrictions are entered under a global permits scheme, nations can reduce emissions by shifting from carbon-intensive sectors to less carbon-intensive sectors, as well as by substituting other factors for energy in all productive activities.

From the Canadian perspective, producers of energy-intensive goods in non-Annex B regions experience an improved competitive position when only Annex B regions reduce emissions, as in the earlier experiment (NCP). In that case, the cost of Canadian carbon-intensive goods is rising and the "world" price of fossil fuels is falling. This leads to a reduced export market for Canadian goods and fiercer import competition, especially for carbon-intensive goods. Under a global scheme, both of these effects are dampened as non-Annex B producers also face higher energy input prices. Further, although Canadian energy-intensive goods tend to be more energy-intensive than U.S. goods, they are often less energy-intensive than goods produced in non-Annex B regions, leading to some possibility of expanding exports or reducing imports relative to the "national" implementation case.

Table 4.8
Canadian Sectoral Results for GCP
(percentages)

	Production	Employment	Energy	Exports	Imports
OMN	0.73	1.21	–1.78	–0.30	1.98
CRP	–0.91	–0.30	–4.92	–0.81	–0.14
I-S	0.65	1.54	–4.14	1.36	0.75
AGR	–1.07	–0.90	–5.57	–1.62	–0.05
NMM	0.87	1.19	–3.02	2.95	–1.12
LAP	–0.26	–0.11	–3.18	–0.79	–0.18
NFM	2.99	3.19	–0.33	3.61	0.71
PPP	–0.10	0.07	–3.11	0.11	–0.51
T-T	–0.31	–0.20	–3.53	0.20	–0.41
GDT	–0.35	–0.24	–6.58	0.00	0.00
WTR	–0.31	–0.25	–4.32	0.00	0.00
TEX	0.07	0.23	–3.10	0.55	–0.18
OSP	–0.21	–0.19	–3.18	0.89	–0.69
LUM	0.09	0.21	–2.81	0.25	–0.32
FRS	–0.06	0.07	–3.80	–0.78	0.02
FMP	0.60	0.67	–2.86	1.78	–0.43
OMF	0.92	0.97	–2.40	2.31	–0.57
CNS	–0.11	–0.04	–3.69	0.00	0.00
PFD	–0.10	–0.08	–3.59	0.90	–0.83
OTN	1.15	1.16	–1.94	2.38	0.04
OSG	–0.10	–0.15	–3.65	1.86	–0.86
OME	1.22	1.23	–1.92	1.66	–0.10
ELE	0.99	0.97	–2.23	1.46	–0.19
LEA	–0.05	–0.04	–3.01	0.29	–0.37
MVH	0.06	0.11	–3.17	0.14	–0.05
WAP	0.26	0.25	–2.56	1.90	–1.06
COL	–6.15	–7.08	–13.43	–4.74	–22.88
CRU	–1.35	–1.56	–4.81	–2.03	–3.83
GAS	–2.74	–3.29	–7.59	1.97	–17.58
P-C	–1.81	0.31	–4.25	3.76	–7.07
ELY	–2.67	–0.40	–8.61	–9.58	0.00
NFE	0.00	–0.17	n.a.	n.a.	n.a.
BKS	0.00	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

It is important to note that the change in the nature of the sectoral effects does not come from permit revenues being spent on investment in sectors that receive permits, as in the DRI (1997) results. Here, permit revenues are returned to the consumer in a lump-sum fashion, so that there is no incentive to increase investment expenditures in sectors with high entitlements to permits. While this treatment of revenues sounds strange, it could be consistent with "grandfathering," wherein firms in a sector are given an allowance of permits to use or sell. In that case, one could imagine the shareholders of the firm being the true recipients of the permits. The firm's managers, acting on the shareholders' behalf, should abate until the firm's marginal abatement cost equals the market price for permits. Thereafter, the managers should sell permits if they have any left over or purchase additional permits to cover their emissions in excess of their permit allowance. In the end, of course, the value of the permits given away effectively increases the consumer's income for that period.

4.2.2 Sectoral Exemptions

In this section, we consider similar exemptions but in tandem with unrestricted international trading of carbon permits. In the following experiments, sectoral exemptions are assumed to apply to all permit-*buying* regions. One experiment looks at divergences from cost-effectiveness on the part of seller regions.

Five cases are considered:

GPA Restrictions (permits or carbon taxes) are imposed only on intermediate use of energy and not on final demand (consumption and government) in all regions buying permits.

GPB Restrictions (permits or carbon taxes) are imposed only on intermediate use of energy in energy-intensive sectors. The sectors covered are:

I-S	Iron and Steel
CRP	Chemicals, Resins and Plastics
OMN	Other Minerals
ELY	(Fossil) Electricity
T-T	Trade and Transportation
PPP	Pulp, Paper and Publishing
NFM	Non-ferrous Metals
LAP	Livestock and other Products

Final demand (consumption and government) is not restricted. All Annex B nations comply using the same type of domestic scheme.

GPC Restrictions (permits or carbon taxes) are imposed only on intermediate use of energy in the *most* energy-intensive sectors. The sectors covered are:

I-S	Iron and Steel
CRP	Chemicals, Resins and Plastics
OMN	Other Minerals
ELY	(Fossil) Electricity

Final demand (consumption and government) is not restricted. This applies to all Annex B nations who buy permits.

GPD Restrictions (permits or carbon taxes) are imposed only on intermediate use of energy in *non*-energy-intensive sectors. The sectors covered are those not covered in the GPB case. Final demand (consumption and government) is not restricted. This scheme is adopted by all Annex B nations.

GPE Buyer regions do not exempt any of their sectors from compliance, but all seller regions exempt final demand. Further, to reflect problems associated with the case-by-case approach to project verification and other practicalities of implementation, seller regions "subsidize" purchases of carbon permits for intermediate use by 50 percent. This will have the effect of making some cost-effective abatement unattractive.[30]

Most notably, the sectoral restrictions seem to have very modest welfare effects in the presence of unrestricted global trading. The welfare effects of compliance with exemptions are, in most cases, very similar to those with no exemptions. The largest welfare effects are in permit-selling regions, which benefit from higher permit prices. The results for Canada under these various scenarios are presented in table 4.9.

It is also noteworthy, that, because the carbon taxes are so modest, they do not activate the backstop electricity technology in any of the global scenarios considered. Unlike several of the national experiments, the backstop technology is too expensive to be used.

Table 4.9
Overview: Restricted Domestic Policies with Global Trading

	GCP	GPA	GPB	GPC	GPD	GPE
Canadian Welfare (%)	–0.49	–0.46	–0.50	–0.52	–0.60	–0.67
Carbon Price ($)	45.79	52.51	55.05	56.70	57.57	69.75
Canadian Emissions (%)	–7.37	–6.35	–5.53	–4.46	–1.40	–10.49

Experiment GPE deals with a departure from cost-effectiveness by permit-selling regions. The idea is that the process of identifying appropriate "projects" for emissions trading is likely to be rather inefficient and that some projects that get approved are likely to be less cost-effective than others that are not approved. The 50 percent distortion introduced in the model might be considered small if CDM trading takes the form of project-by-project trading as some foresee. This problem was highlighted in Hahn and Stavins (1999). Nonetheless, the impact on welfare, carbon prices and sectoral effects are all relatively modest. Note that Canadian emissions reductions are higher under GPE because of the increased cost of permits.

Sectoral Effects: Sectoral Exemptions

The sectoral reallocation effects in Canada are presented in table 4.10. If exemptions are limited to the final users of energy, as in the GPA case, the sectoral effects are virtually identical to those of the cost-effective plan (GCP). When all non-energy-intensive sectors and final demand are exempted (case GPB), abatement is focused on the energy-intensive industrial sectors. In this case, the covered sectors decline more or expand less than under the cost-effective scheme (GCP). Every exempted sector (except Coal) experiences a smaller decline, or a larger increase in output. In processed foods, a small decline in output under GCP becomes a small increase under GPB. These changes relate directly to the change in coverage of the policy.

In experiments GPA to GPC, the electricity sector declines more than without sectoral exemptions. It appears that as abatement is progressively focused on the most energy-intensive sectors, output reductions get larger in the electricity sector and smaller in the primary fuels sectors (coal, natural gas and petroleum).

Table 4.10
Sectoral Reallocation Effects: Canada

	Sectoral Output Level (% change)					
	GCP	**GPA**	**GPB**	**GPC**	**GPD**	**GPE**
OMN	0.73	0.80	0.72	0.87	2.50	0.35
CRP	–0.91	–0.99	–1.58	–1.73	1.79	–1.89
I-S	0.65	0.64	0.34	0.21	3.70	–0.28
AGR	–1.07	–1.10	0.17	0.12	–1.63	–1.31
NMM	0.87	0.86	1.60	1.52	0.99	0.61
LAP	–0.26	–0.27	–0.24	0.03	–0.27	–0.22
NFM	2.99	3.11	2.93	4.12	5.24	2.99
PPP	–0.10	–0.13	–0.33	0.13	0.25	–0.14
T-T	–0.31	–0.32	–0.38	–0.19	–0.26	–0.41
GDT	–0.35	–0.35	–0.11	–0.12	–0.30	–0.59
WTR	–0.31	–0.31	–0.24	–0.21	–0.30	–0.46
TEX	0.07	0.06	0.52	0.39	–0.10	0.08
OSP	–0.21	–0.20	–0.13	–0.16	–0.37	–0.25
LUM	0.09	0.07	0.49	0.43	–0.33	0.16
FRS	–0.06	–0.09	0.20	0.24	–0.36	–0.05
FMP	0.60	0.59	0.89	0.79	0.91	0.47
OMF	0.92	0.95	1.33	1.24	1.06	0.90
CNS	–0.11	–0.11	–0.09	–0.09	–0.12	–0.15
PFD	–0.10	–0.11	–0.02	0.04	–0.37	–0.05
OTN	1.15	1.13	1.52	1.16	0.28	1.65
OSG	–0.10	–0.05	0.00	–0.08	–0.48	–0.03
OME	1.22	1.24	1.60	1.46	1.02	1.50
ELE	0.99	1.02	1.23	1.10	0.36	1.58
LEA	–0.05	–0.03	0.01	–0.12	–0.46	0.80
MVH	0.06	0.04	0.32	0.21	0.36	–0.04
WAP	0.26	0.29	0.41	0.23	–0.47	0.87
COL	–6.15	–6.37	–7.69	–7.65	–2.33	–6.87
CRU	–1.35	–0.88	–0.24	0.03	–0.87	–1.75
GAS	–2.74	–1.95	–1.13	–0.72	–0.97	–3.79
P-C	–1.81	–0.79	–0.42	0.60	–0.21	–2.72
ELY	–2.67	–4.02	–5.22	–5.81	0.91	–4.09
NFE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BKS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

It is notable that exemptions have dramatically less impact on the sectoral adjustments that occur in the presence of global trading than in the national permit scenarios. In the GPD case, carbon restrictions only apply to non-energy-intensive intermediate use. In this case, all of the energy-intensive sectors except agriculture and livestock expand! Trading influences are contributing to these effects, since these sectors are subject to carbon restrictions in non-Annex B regions.

While sectoral exemptions alter the pattern of sectoral effects, these are still less dramatic with trading (cases GPA–GPD) than without trading (NPA–NPD). The world price of carbon tends to rise as restrictions are progressively imposed. The exemptions cause a further increase in demand for permits and a corresponding increase in the price of carbon. Abatement in Annex B countries is lower and abatement in non-Annex B regions is higher in experiments GPA–GPD than the unrestricted trading GCP case.

A key aspect of experiments GPA–GPD is that all Annex B regions are assumed to pursue the same policies. This reduces the likelihood that distortions will cause dramatic shifts in intra-Annex B trade and the resulting sectoral shifts.

4.2.3 Global Trading: Summary

In this section, we looked at the cost and consequences of Kyoto compliance with the possibility of global trading in emissions permits. A number of assumptions about Canadian (and Annex B countries) implementation were explored. The key conclusions are:

- International permit trading dramatically lowers the welfare cost of compliance and the permit cost or carbon taxes associated with it.
- The pattern and severity of sectoral impacts in Canada are quite different from those observed without permit trading, as energy-intensive sectors in non-Annex B cut back output (instead of expanding when compliance is restricted to Annex B countries).
- Sectoral exemptions to intermediate use in buyer regions have much less absolute impact on the cost of compliance with global trading. To some extent, this seems to suggest that one of the benefits of trading is to mitigate the cost of domestic policy errors.[31]
- Modest divergences of policies from cost-effectiveness by permit-selling regions are associated with relatively small welfare consequences. Seller regions benefit from higher permit prices.
- When sectoral exemptions are used without trading, the effect is to impose higher proportions of emissions reduction on those sectors that do need to comply. This raises the marginal cost of abatement (carbon taxes). By contrast, with global trading of emissions permits, a main impact is to reduce domestic abatement. In that case, the result is increased purchases of emissions permits.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

This study has focused on the sectoral effects of Kyoto compliance and the impacts of various forms of sectoral exemptions.

If Canada's compliance must take place without international permit trading, the costs of compliance are only likely to be modest if domestic implementation is achieved through a cost-effective scheme. That is to say, a scheme with limited sectoral exemptions. If exemptions are too broad, or poorly designed, the welfare cost of complying with the Kyoto commitments is likely to be dramatically higher.

Global emissions trading reduces the expected welfare cost if the implementation is cost-effective. If, however, domestic implementation is *not* cost-effective, international emissions trading may reduce the *cost* consequences of non-cost-effective domestic implementation in Annex B regions. The contrast between the impacts of various domestic "exemptions" with and without trading is quite stark. The drawback of sectoral exemptions with international emissions trading is not so much their increased cost, but the significant decrease in Canadian abatement that results.

In terms of sectoral effects, one of the important conclusions is that while the most energy-intensive sectors in Canada tend to decline with cost-effective domestic policies (with or without international emissions trading), the consequences are dramatically reduced (and in some cases reversed) with unrestricted global trading. When abatement is done without emissions trading, marked decreases in the activity level and emissions of Canadian energy-intensive sectors are required to reduce emissions in Canada. With global trading, the most serious output and emissions reductions take place in energy-intensive sectors abroad, leading to significant reductions in the production of these goods on the world market. With global trading, the effect of increased energy costs is often largely offset by reduced supply of foreign energy-intensive goods.

The research reported here suggests two main avenues for future research:

Asymmetric Sectoral Exemptions — When sectoral exemptions were considered under a national permits scheme, only Canada was assumed to grant exemptions. The exemption cases with global trading considered imply a symmetric pattern of divergences from cost-effectiveness by all Annex B regions. In other words, all Annex B regions adopted the same pattern of exemptions. It would be useful to analyse selected cases of interaction in the presence of different patterns of domestic exemptions in different buyer regions.

Departures from Cost-effectiveness — It would also be useful to consider cases where departures from cost-effectiveness occur in *both* buyer and seller regions. It seems unlikely that implementation in *buyer* regions will be perfectly cost-effective. It seems absolutely certain that implementation in seller regions *will not* be cost-effective.

APPENDIX A
DATA

Table A.1
Kyoto Regional Aggregation

CAN	Canada
USA	United States
JPN	Japan
EUR	Europe
OOE	Other OECD
CHN	China
FSU	Former Soviet Union
CEA	Central European Associates
ASI	Other Asia
MPC	Mexico plus OPEC
ROW	Other Countries
WLD	World

Table A.2
Kyoto Commodity Aggregation

AGR	Primary Crops and Fibres
LAP	Live Animal Products (includes Livestock, Wool and Fishing)
PFD	Processed Food
COL	Coal
CRU	Oil
GAS	Natural Gas
OMN	Other Minerals
FRS	Forestry
TEX	Textiles
WAP	Wearing Apparel
LEA	Leather Goods
LUM	Lumber and Wood
PPP	Pulp and Paper
P-C	Petroleum and Coal Products
CRP	Chemicals Rubber and Plastics
NMM	Non-metallic Mineral Products
I-S	Primary Ferrous Metals
NFM	Non-ferrous Metals
FMP	Fabricated Metal Products
MVH	Motor Vehicles
OTN	Other Transportation Equipment
ELE	Electronic Equipment
OME	Machinery and Equipment
OMF	Other Manufacturing Products
ELY	Electricity
GDT	Gas Manufacturing and Distribution
WTR	Water
CNS	Construction
T-T	Trade and Transportation
OSP	Other Services (private)
OSG	Other Services (public)

APPENDIX B
CENTRAL CASE PARAMETERS

This section reviews the central case elasticity configuration. The energy-substitution parameters are common across all regions.

Table B.1
Energy Substitution Parameters

	V
Substitution between fossil fuel types	0.50
Substitution between electricity and fossil fuels	0.30
Substitution between energy and primary factors	0.50
Substitution between energy and goods (final demand)	0.24

There are two "Armington" elasticities. ESUBDM is the elasticity of substitution between domestic goods and a composite of imports. ESUBMM is the elasticity of substitution between imports from different foreign sources. These elasticities of substitution are common across countries for a given sector.

ESUBVA is the elasticity of substitution between factors in the value-added nest. It is set at 0.2 for the sectors other than the primary fossil fuel sectors, and at 0.05 for the primary fossil fuel sectors. In the latter case, this elasticity is chosen to give an elasticity of supply of fossil fuels in the range of 0.6–1.0 in line with other studies. Table B.2 lists the standard values used in GTAP for trade elasticities and the GTAP standard elasticities of substitution between primary factors.[32]

In the central case presented here, all GTAP trade elasticities except those for Coal are used. In the case of coal, lower elasticities are used (1.2 and 2.4) to reflect the limitations imposed by distance on substituting between coal from different sources.

Table B.2
Sector-specific Parameters

	ESUBDM	ESUBMM	ESUBVA
AGR	2.20	4.40	0.20
LAP	2.79	5.45	0.20
PFD	2.38	4.69	0.20
COL	2.80	5.60	0.05
CRU	2.80	5.60	0.05
GAS	2.80	5.60	0.05
OMN	2.80	5.60	0.20
FRS	2.80	5.60	0.20
TEX	2.20	4.40	0.20
WAP	4.40	8.80	0.20
LEA	4.40	8.80	0.20
LUM	2.80	5.60	0.20
PPP	1.80	3.60	0.20
P-C	1.90	3.80	0.20
CRP	1.90	3.80	0.20
NMM	2.80	5.60	0.20
I-S	2.80	5.60	0.20
NFM	2.80	5.60	0.20
FMP	2.80	5.60	0.20
MVH	5.20	10.40	0.20
OTN	5.20	10.40	0.20
ELE	2.80	5.60	0.20
OME	2.80	5.60	0.20
OMF	2.80	5.60	0.20
ELY	2.80	5.60	0.20
GDT	2.80	5.60	0.20
WTR	2.80	5.60	0.20
CNS	1.90	3.80	0.20
T-T	1.90	3.80	0.20
OSP	1.90	3.80	0.20
OSG	1.90	3.80	0.20

Some limited sensitivity analysis of core results is presented below. SUBEV is the elasticity of substitution between the energy composite and the value-added composite. EVASHR is the share of energy that is allocated to the value-added nest rather than the intermediate inputs nest. CAPTY is the ratio of hydroelectric generating capacity in the 2010 BAU scenario to the benchmark hydroelectric generating capacity.

Table B.3
Region-specific Parameters

	SUBEV	EVASHR	CAPTY
CAN	0.20	0.99	0.92
USA	0.40	0.99	0.92
JPN	0.10	0.99	1.05
EUR	0.20	0.99	1.05
OOE	0.40	0.99	1.05
CHN	0.40	0.99	3.16
FSU	0.40	0.99	1.17
CEA	0.40	0.99	1.05
ASI	0.40	0.99	1.85
MPC	0.40	0.99	1.85
ROW	0.40	0.99	1.85

APPENDIX C
BAU SCENARIO

The BAU (business-as-usual) scenario is assembled in a relatively straightforward fashion. A region-specific growth factor reflecting 1995 (benchmark) to 2010 growth in the absence of carbon policy is applied to all primary factors in each region. The BAU growth factors between the benchmark data (1995) and 2010 are shown in Table C.1.

Table C.1
BAU Growth Factors

CAN	1.386
USA	1.427
JPN	1.228
EUR	1.504
OOE	1.370
CHN	2.390
CEA	1.450
FSU	1.200
ASI	1.740
MPC	1.740
ROW	1.740

These growth rates are applied in a neutral fashion: all endowments of primary factors are assumed to grow at this common rate. A quick summary of the BAU scenario which results follows. Done this way, the growth applies to sector-specific factors (resources and land) as well as those that are mobile between sectors.

Table C.2
Summary Table for BAU (BCH)

	Welfare ($B)	Welfare (%)
CAN	173.48	38.92
USA	2,611.76	43.29
JPN	855.24	24.03
EUR	3,495.43	50.70
OOE	122.94	38.05
CHN	897.37	127.10
FSU	81.44	21.54
CEA	112.93	45.57
ASI	653.32	71.87
MPC	608.24	70.18
ROW	1,307.69	73.02
WLD	10,919.83	49.29

C.1 Emissions

Once the new equilibrium has been achieved with these new factor endowments, CO_2 emissions are significantly higher than the IEA/NRCan (International Energy Agency/Natural Resources Canada) forecasts. As a result, the emissions are rescaled to exactly hit these targets by region and fossil fuel.[33]

The target emissions percentage growth between the benchmark and BAU case is presented in Table C.3.

Table C.3
Target Emissions Growth 1995-2010 (%) (IEA/NRCan)

	CAN	USA	JPN	EUR	OOE	CHN
COL	25.250	30.230	14.421	12.938	22.808	63.764
GAS	17.699	22.379	57.820	68.633	39.936	241.666
P-C	14.216	18.758	15.006	21.955	19.275	122.799
TOT	17.610	23.494	19.484	28.289	24.063	77.113

	FSU	CEA	ASI	MPC	ROW
COL	19.186	19.186	70.458	70.458	70.458
GAS	29.652	29.652	99.370	99.370	99.370
P-C	18.566	18.566	56.978	56.978	56.978
TOT	23.535	20.854	66.617	70.166	66.923

All figures are with respect to the 1995 benchmark. Values are in billions of 1995 U.S. dollars.

APPENDIX D
PARAMETER SENSITIVITY

D.1 Limited Sensitivity Analysis of NCP

A number of sensitivity cases were specified to investigate parameter sensitivity of the welfare and carbon price effects of Kyoto compliance. A brief description of the difference between the various sensitivity cases and the central case is presented in Table D.1.

Table D.1
Parameter Configurations

C-C	Central case
MRT	MRT values when known, otherwise C-C
GTP	Suggested values distributed with GTAP (otherwise C-C)
LEV	Elasticity of substitution between energy composite and value-added reduced to 0.1 from 0.4
LFF	Elasticity of substitution between fossil fuel types reduced to 0.1
LEF	Elasticity of substitution between the fossil fuel aggregate and electricity reduced to 0.1 from 0.3
LVA	Elasticity of substitution within value-added nest reduced to 30% of GTAP (high) values
LTR	Trade elasticities (import-domestic and between import sources) reduced to 50% of their initial value
HTR	Trade elasticities (import-domestic and between import sources) raised to 160% of their initial value
CBS	Cheaper backstop technologies are available: the backstop is only 33% more costly at benchmark prices than fossil electricity
HNF	Higher non-fossil generating capacity: non-fossil generating capacity (hydro plus nuclear plus wind, solar, etc.) is assumed to be 10% higher than the reference assumptions

Limited sensitivity results are presented in Table D.2. In the sensitivity cases LEV–HTR, the relevant parameters were altered from their central case values in the same way for all regions. It appears that key elasticities for these results are the elasticity of substitution between energy and value added plus the elasticity of substitution between fossil fuel types. Lowering the trade elasticities increases the Canadian welfare loss by almost 50 percent. Finally, reducing the cost disadvantage of the backstop technology (CBS) reduces the welfare cost of compliance noticeably.

Table D.2
Welfare Sensitivity Summary for NCP

	C-C	MRT	GTP	LEV	LFF	LEF	LVA	LTR	HTR	CBS	HNF
Canada	–1.13	–1.21	–1.05	–1.26	–1.24	–1.14	–1.20	–1.46	–1.01	–1.01	–1.10
United States	–0.60	–0.61	–0.47	–1.43	–0.64	–0.65	–0.64	–0.52	–0.62	–0.56	–0.60
Japan	–1.09	–1.09	–0.58	–1.12	–1.43	–2.31	–1.38	–0.80	–1.16	–1.04	–1.09
Europe	–1.21	–1.23	–0.71	–1.81	–1.37	–1.42	–1.44	–1.13	–1.23	–0.94	–1.21
Other OECD	–0.72	–0.99	–0.89	–1.41	–0.80	–0.71	–0.52	–1.07	–0.57	–0.99	–0.72
China	–0.39	–0.38	–0.18	–0.51	–0.45	–0.44	–0.61	–0.78	–0.27	–0.32	–0.39
Former Soviet Union	0.60	0.64	0.01	1.08	0.70	0.92	1.00	0.20	0.94	0.13	0.61
Central European Associates	–0.30	–0.41	–0.37	–1.10	–0.37	–0.32	–0.32	–0.33	–0.29	–0.48	–0.31
Other Asia	–0.24	–0.22	–0.08	–0.40	–0.25	–0.33	–0.30	–0.44	–0.19	–0.10	–0.24
Mexico plus OPEC	–0.72	–0.72	–1.09	0.08	–0.82	–0.44	–0.28	–1.94	–0.37	–0.99	–0.72
Other Countries	–0.06	–0.07	–0.17	0.04	–0.06	0.00	0.11	–0.27	0.02	–0.11	–0.06
World Total	–0.78	–0.79	–0.54	–1.17	–0.89	–1.01	–0.87	–0.81	–0.76	–0.69	–0.78

D.2 Limited Sensitivity Analysis of GCP

Some limited sensitivity results are also presented in Table D.3. The sensitivity cases considered are those described above in Table D.1. There are two key parameter changes for the Canadian welfare effects. Reducing the elasticity of substitution between energy and value added and the elasticity of substitution between fossil fuels increases the welfare loss to almost 1 percent of GNP even with trading.

Table D.3
Welfare Sensitivity Summary for GCP

	C-C	MRT	GTP	LEV	LFF	LEF	LVA	LTR	HTR	CBS	HNF
Canada	–0.49	–0.52	–0.47	–0.87	–0.59	–0.50	–0.50	–0.61	–0.44	–0.49	–0.49
United States	–0.29	–0.29	–0.24	–0.67	–0.34	–0.31	–0.31	–0.34	–0.27	–0.29	–0.29
Japan	–0.05	–0.04	–0.03	–0.11	–0.07	–0.07	–0.08	–0.05	–0.04	–0.05	–0.05
Europe	–0.13	–0.13	–0.11	–0.28	–0.17	–0.14	–0.15	–0.17	–0.12	–0.13	–0.13
Other OECD	–0.64	–0.72	–0.60	–1.15	–0.63	–0.64	–0.63	–0.81	–0.58	–0.64	–0.63
China	0.26	0.27	0.22	0.79	0.31	0.25	0.25	0.69	0.16	0.26	0.25
Former Soviet Union	2.15	2.14	1.69	5.51	2.60	2.35	2.42	2.55	1.94	2.15	2.14
Central European Associates	–0.38	–0.39	–0.30	–0.81	–0.42	–0.41	–0.44	–0.41	–0.37	–0.38	–0.38
Other Asia	0.15	0.15	0.15	0.46	0.12	0.14	0.12	0.34	0.09	0.15	0.15
Mexico plus OPEC	–0.27	–0.27	–0.40	–0.11	–0.48	–0.16	–0.09	–0.36	–0.24	–0.27	–0.27
Other Countries	0.01	0.01	–0.01	0.21	–0.03	0.02	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01
World Total	–0.11	–0.11	–0.10	–0.17	–0.14	–0.11	–0.11	–0.11	–0.10	–0.11	–0.11

Increasing the trade elasticities makes it easier to substitute between domestic and imported goods. This causes the Canadian welfare loss to fall.

It is notable that the world total welfare loss is not very sensitive to these parameter variations, but that the distribution of the loss between regions is.

The most influential parameter for the carbon price is the elasticity of substitution between the energy composite and the value-added composite.

NOTES

1 The structure of the model used here (MRT-C) is similar to that of a static model developed by Glenn Harrison and Tom Rutherford for the analysis of the Uruguay Round. It also employs Tom Rutherford's GTAPinGAMS modelling system. To that extent, it has some similarities to, but should not be confused with the dynamic MS-MRT model used by Tom Rutherford and Charles River Associates. See Wigle, 1999.

2 See Center for Global Trade Analysis, 1998.

3 In other words, if there are no opportunities to purchase emission permits from other nations.

4 This is summarized in section 4.1.3.

5 See a summary of William Nordhaus' comments at http.//www.weathervane.rff.org/features/feature055.html.

6 In the U.S. Environmental Protection Agency's language, the "permits" are called Emission Reduction Credits or ERC's.

7 See Joskow et al., 1998.

8 See Tietenberg, 1985 or even the relevant sections of Tietenberg's current environmental policy text (Tietenberg, 1998).

9 See Bohringer and Rutherford, 1996.

10 See Hahn and Stavins, 1999.

11 See Howatson and Campfens, 1997.

12 Canada's Kyoto commitment is to reduce emissions by 6 percent from 1990 levels.

13 It should be noted that the DRI (Data Resources International) policy instrument is not cost-effective because of the way revenues end up being assigned.

14 The GTEM model is housed at the Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics (ABARE). See Tulpulé et al., 1999.

15 Compare this with about 25 percent for the United States. See Tulpulé et al., 1999, Table 5, and Natural Resources Canada, 1997.

16 The cost shares were computed from the most corresponding GTAP sector.

17 The DRI specification assumes that the added profits generated by permit sales are split between dividends and retained earnings. The retained earnings are invested in the same sector.

18 See Wigle, 1999. The model documentation is available at: http:/www.kw.igs.net/~rwiglw/model.pdf

19 http://nash.colorado.edu/~tomruth/gtapingams/html/gtapgams.html

20 This means that the backstop electricity sector becomes profitable at about $US 250 per tonne of carbon.

21 The GTAP data has three untraded service sectors where the trade flows are zero by construction. These are WTR (water and utilities), GDT (gas pipelines and distribution) and CNS (construction).

22 By carbon intensity we mean the amount of carbon emissions produced per dollar of output. Similarly, the energy intensity is the value of energy inputs per unit of output.

23 A sector that consumes very little fuel could still have high effective energy input if it uses a lot of energy-intensive intermediate inputs.

24 The results compare with MS-MRT estimates of welfare losses for Canada closer to 2.5 percent and a carbon tax over $350.

25 In all the sectoral tables that follow, non-fossil electricity (NFE) is distinguished from electricity generated using fossil fuels (ELY) and electricity generated using the backstop technology (BKS). Since these three goods are assumed to be perfect substitutes, the exports and imports are reported in the ELY row. The changes in production reported correspond to that sector only. In the case of the backstop electricity sector, the change in production is expressed as a percentage of the initial production of fossil energy.

26 A least-square curve fitted to the observed sectoral output effects and the sectoral energy shares explains about half of the variation of the sectoral effects around their mean.

27 If we extended the ill logic far enough, it's easy to understand infinite carbon taxes for the no-trading case. This would result if we required all of Canada's abatement target to be achieved by the Canadian feather duster industry.

28 The size of the welfare losses under domestic compliance relative to those under global trading depends on the parameter specifications.

29 A least-square curve fitted to the observed sectoral output effects and the sectoral energy shares in this case explains less than 20 percent of the variation of the sectoral effects around their mean.

30 The intention of this formulation is to model divergences from cost-effectiveness in the seller region's responses, rather than restricted international trading as foreseen in recent European proposals.

31 These experiments differ from the corresponding "National" experiments in that it is assumed that all Annex B regions adopt similarly distorting policies. One possibility that warrants attention is if different Annex B regions adopt different sets of exemptions in the presence of global trading.

32 Capital, labour, skilled labour, resources and land.

33 In terms of the precise modelling, the benchmark and BAU carbon emissions play no role. There are enough permits available so that their value is zero. As a result, it is possible to rescale them at that point to hit an arbitrary target. Further, it is possible to rescale them by fuel type and region to hit emissions forecasts by fuel source and region.

BIBLIOGRAPHY

Bernstein, P., W.D. Montgomery, T.F. Rutherford and G. Yang. "Effect of Restrictions on International Permit Trading," *Energy Journal Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol*, (May 1999): 221–56.

Bohringer, C. and T.F. Rutherford. "Carbon Taxes with Exemptions in an Open Economy: A General Equilibrium Analysis of the German Tax Initiative," *Journal of Environmental Economics and Management*, (1996): 189–203.

Center for Global Trade Analysis. *Global Trade, Assistance and Protection: The GTAP 4 Data Package*. Technical Report, Purdue University, 1998.

DRI. *Impacts on Canadian Competitiveness of International Climate Change Mitigation: Phase II*. Report, Standard and Poor's Data Resources International, November 1997.

Edmonds, J.A., S.H. Kim, C.N. McCracken, R.D. Sands and M.A. Wise. *Return to 1990: The Cost of Mitigating United States Carbon Emissions in the Post-2000 Period*. Technical Report, Pacific North West Laboratories, October 1997.

Energy Forecasting Division. *Canada's Emissions Outlook: An Events-based Update for 2010*. Working Paper, Natural Resources Canada, October 1998.

Hahn, R.W. and R.N. Stavins. *What Has Kyoto Wrought? The Real Architecture of International Tradeable Permit Markets*. Revised version of February 25, 1999.

Howatson, A. and J. Campfens. "The Economic Impact of Greenhouse Gas Reductions: A Comparative Review." Mimeo, Conference Board of Canada, July 1997.

International Energy Agency. *World Energy Outlook*. Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 1998.

Joskow, P.J., R. Schmalensee and E.M. Bailey. "The Market for Sulfur Dioxide Emissions," *American Economic Review*, 88, 4 (September 1998): 669–85.

Kainuma, M., Y. Matsuoka, T. Morita and T. Matsui. "Preliminary Analysis of Post-Kyoto EMF Scenarios." Mimeo, AIM Project Team, August 1998.

MacCracken, C., J. Edmonds, S. Kim and R. Sands. "The Economics of the Kyoto Protocol," *Energy Journal Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol*, (May 1999): 25–72.

Manne, A.S. "International Trade – Potential Impacts of the Kyoto Protocol." Mimeo, Stanford University, May 1998.

McKibbin, W.J., R. Shackleton and P.J. Wilcoxen. "What to Expect From an International System of Tradable Permits for Carbon Emissions." Mimeo, Brookings Institution and EPA, July 1998.

McKitrick, R. "Double Dividend, Environmental Taxation and Canadian Carbon Emissions Control," *Canadian Public Policy*, 23, 4 (1997): 417–34.

Natural Resources Canada. *Canada's Energy Outlook 1996-2020*. Ottawa: Supply and Services Canada, 1997.

Nordhaus, W.D. and J.G. Boyer. *Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of The Kyoto Protocol*. Paper prepared for the Energy Modeling Forum Meeting, Snowmass (Col.), August 10–11, 1998.

Rutherford, T.F. Slides for Venice Conference, Charles River Associates, May 1998. Slides at http://nash.colorado.edu/~tomruth/venice.html.

Schneider, S.H. and L.H. Goulder. "Achieving Low-cost Emissions Reductions," *Nature*, 389, 4 (September 1997): 13–4.

Tietenberg, T. *Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Control*. Washington (D.C.): Resources for the Future, 1985.

_____. *Environmental Economics and Policy*. (2nd ed.). Reading (Mass.): Addison Wesley, 1998.

Tulpulé, V., S. Brown, J. Lim, C. Polidano, H. Pant and B.S. Fisher. "An Economic Assessment of the Kyoto Protocol Using the Global Trade and Environment Model," *Energy Journal Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol*, (May 1999): 257–86.

Wigle, R.M. "MRT-C Model Documentation." Mimeo, Wilfrid Laurier University, October 1999.

INDUSTRY CANADA RESEARCH PUBLICATIONS

INDUSTRY CANADA WORKING PAPER SERIES

No. 1 **Economic Integration in North America: Trends in Foreign Direct Investment and the Top 1,000 Firms**, Micro-Economic Policy Analysis staff including John Knubley, Marc Legault, and P. Someshwar Rao, Industry Canada, 1994.

No. 2 **Canadian-Based Multinationals: An Analysis of Activities and Performance,** Micro-Economic Policy Analysis staff including P. Someshwar Rao, Marc Legault, and Ashfaq Ahmad, Industry Canada, 1994.

No. 3 **International R&D Spillovers Between Industries in Canada and the United States**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1994.

No. 4 **The Economic Impact of Mergers and Acquisitions on Corporations**, Gilles Mcdougall, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1995.

No. 5 **Steppin' Out: An Analysis of Recent Graduates Into the Labour Market**, Ross Finnie, School of Public Administration, Carleton University, and Statistics Canada, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 6 **Measuring the Compliance Cost of Tax Expenditures: The Case of Research and Development Incentives**, Sally Gunz and Alan Macnaughton, University of Waterloo, and Karen Wensley, Ernst & Young, Toronto, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 7 **Governance Structure, Corporate Decision-Making and Firm Performance in North America**, P. Someshwar Rao and Clifton R. Lee-Sing, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 8 **Foreign Direct Investment and APEC Economic Integration**, Ashfaq Ahmad, P. Someshwar Rao, and Colleen Barnes, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 9 **World Mandate Strategies for Canadian Subsidiaries**, Julian Birkinshaw, Institute of International Business, Stockholm School of Economics, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 10 **R&D Productivity Growth in Canadian Communications Equipment and Manufacturing**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 11 **Long-Run Perspective on Canadian Regional Convergence**, Serge Couiombe, Department of Economics, University of Ottawa, and Frank C. Lee, Industry Canada, 1996.

No. 12 **Implications of Technology and Imports on Employment and Wages in Canada**, Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 13 **The Development of Strategic Alliances in Canadian Industries: A Micro Analysis,** Sunder Magun, Applied International Economics, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 14 **Employment Performance in the Knowledge-Based Economy**, Surendra Gera, Industry Canada, and Philippe Massé, Human Resources Development Canada, 1996.

No. 15 **The Knowledge-Based Economy: Shifts in Industrial Output**, Surendra Gera, Industry Canada, and Kurt Mang, Department of Finance, 1997.

No. 16 **Business Strategies of SMEs and Large Firms in Canada**, Gilles Mcdougall and David Swimmer, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1997.

No. 17 **Impact of China's Trade and Foreign Investment Reforms on the World Economy**, Winnie Lam, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1997.

No. 18 **Regional Disparities in Canada: Characterization, Trends and Lessons for Economic Policy**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 19 **Inter-Industry and U.S. R&D Spillovers, Canadian Industrial Production and Productivity Growth**, Jeffrey I. Bernstein, Carleton University and National Bureau of Economic Research, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 20 **Information Technology and Labour Productivity Growth: An Empirical Analysis for Canada and the United States**, Surendra Gera, Wulong Gu, and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 21 **Capital-Embodied Technical Change and the Productivity Growth Slowdown in Canada**, Surendra Gera, Wulong Gu, and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 23 **Restructuring in Canadian Industries: A Micro Analysis**, Sunder Magun, Applied International Economics, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 24 **Canadian Government Policies Toward Inward Foreign Direct Investment**, Steven Globerman, Simon Fraser University and Western Washington University, and Daniel Shapiro, Simon Fraser University, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 25 **A Structuralist Assessment of Technology Policies – Taking Schumpeter Seriously on Policy**, Richard G. Lipsey and Kenneth Carlaw, Simon Fraser University, with a contribution by Davit D. Akman, research associate, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 26 **Intrafirm Trade of Canadian-Based Foreign Transnational Companies**, Richard A. Cameron, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 27 **Recent Jumps in Patenting Activities: Comparative Innovative Performance of Major Industrial Countries, Patterns and Explanations**, Mohammed Rafiquzzaman and Lori Whewell, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1998.

No. 28 **Technology and the Demand for Skills: An Industry-Level Analysis**, Surendra Gera and Wulong Gu, Industry Canada, and Zhengxi Lin, Statistics Canada, 1999.

No. 29 **The Productivity Gap Between Canadian and U.S. Firms**, Frank C. Lee and Jianmin Tang, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 30 **Foreign Direct Investment and Productivity Growth: The Canadian Host-Country Experience**, Surendra Gera, Wulong Gu and Frank C. Lee, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 31 **Are Canadian-Controlled Manufacturing Firms Less Productive than their Foreign-Controlled Counterparts?** Someshwar Rao and Jianmin Tang, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 2000.

No. 32 **The Canada-U.S. Productivity Growth Paradox**, Serge Coulombe, Department of Economics, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 2000.

No. 33 **R&D Propensity and Productivity Performance of Foreign-Controlled Firms in Canada**, Jianmin Tang and Someshwar Rao, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 2001.

No. 34 **Sectoral Impacts of Kyoto Compliance**, Randall Wigle, Wilfrid Laurier University, under contract with Industry Canada, 2001.

INDUSTRY CANADA DISCUSSION PAPER SERIES

No. 1 **Multinationals as Agents of Change: Setting a New Canadian Policy on Foreign Direct Investment**, Lorraine Eden, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1994.

No. 2 **Technological Change and International Economic Institutions**, Sylvia Ostry, Centre for International Studies, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 3 **Canadian Corporate Governance: Policy Options**, Ronald. J. Daniels, Faculty of Law, University of Toronto, and Randall Morck, Faculty of Business, University of Alberta, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 4 **Foreign Direct Investment and Market Framework Policies: Reducing Frictions in APEC Policies on Competition and Intellectual Property**, Ronald Hirshhorn, under contract with Industry Canada, 1996.

No. 5 **Industry Canada's Foreign Investment Research: Messages and Policy Implications**, Ronald Hirshhorn, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 6 **International Market Contestability and the New Issues at the World Trade Organization,** Edward M. Graham, Institute for International Economics, Washington (D.C.), under contract with Industry Canada, 1998.

No. 7 **Implications of Foreign Ownership Restrictions for the Canadian Economy – A Sectoral Analysis,** Steven Globerman, Western Washington University, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 8 **Determinants of Canadian Productivity Growth: Issues and Prospects**, Richard G. Harris, Simon Fraser University and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 9 **Is Canada Missing the "Technology Boat"? Evidence from Patent Data**, Manuel Trajtenberg, Tel Aviv University, National Bureau of Economic Research and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 2000.

No. 10 **North American Economic Integration: Issues and Research Agenda**, Richard G. Harris, Simon Fraser University, under contract with Industry Canada, 2001.

INDUSTRY CANADA OCCASIONAL PAPER SERIES

No. 1 **Formal and Informal Investment Barriers in the G-7 Countries: The Country Chapters**, Micro-Economic Policy Analysis staff including Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, John Knubley, Rosemary D. MacDonald, and Christopher Wilkie, Industry Canada, 1994.

Formal and Informal Investment Barriers in the G-7 Countries: Summary and Conclusions, Micro-Economic Policy Analysis staff including Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, and John Knubley, Industry Canada, 1994.

No. 2 **Business Development Initiatives of Multinational Subsidiaries in Canada**, Julian Birkinshaw, University of Western Ontario, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 3 **The Role of R&D Consortia in Technology Development**, Vinod Kumar, Research Centre for Technology Management, Carleton University, and Sunder Magun, Centre for Trade Policy and Law, University of Ottawa and Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 4 **Gender Tracking in University Programs**, Sid Gilbert, University of Guelph, and Alan Pomfret, King's College, University of Western Ontario, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 5 **Competitiveness: Concepts and Measures**, Donald G. McFetridge, Department of Economics, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 6 **Institutional Aspects of R&D Tax Incentives: The SR&ED Tax Credit**, G. Bruce Doern, School of Public Administration, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 7 **Competition Policy as a Dimension of Economic Policy: A Comparative Perspective**, Robert D. Anderson and S. Dev Khosla, Economics and International Affairs Branch, Bureau of Competition Policy, Industry Canada, 1995.

No. 8 **Mechanisms and Practices for the Assessment of the Social and Cultural Implications of Science and Technology**, Liora Salter, Osgoode Hall Law School, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 9 **Science and Technology: Perspectives for Public Policy**, Donald G. McFetridge, Department of Economics, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 10 **Endogenous Innovation and Growth: Implications for Canada**, Pierre Fortin, Université du Québec à Montréal and Canadian Institute for Advanced Research, and Elhanan Helpman, Tel Aviv University and Canadian Institute for Advanced Research, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 11 **The University-Industry Relationship in Science and Technology**, Jérôme Doutriaux, University of Ottawa, and Margaret Barker, Meg Barker Consulting, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 12 **Technology and the Economy: A Review of Some Critical Relationships**, Michael Gibbons, University of Sussex, under contract with Industry Canada, 1995.

No. 13 **Management Skills Development in Canada**, Keith Newton, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1995.

No. 14 **The Human Factor in Firm's Performance: Management Strategies for Productivity and Competitiveness in the Knowledge-Based Economy**, Keith Newton, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 15 **Payroll Taxation and Employment: A Literature Survey**, Joni Baran, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1996.

No. 16 **Sustainable Development: Concepts, Measures, Market and Policy Failures at the Open Economy, Industry and Firm Levels**, Philippe Crabbé, Institute for Research on the Environment and Economy, University of Ottawa, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 17 **Measuring Sustainable Development: A Review of Current Practice,** Peter Hardi and Stephan Barg, with Tony Hodge and Laszlo Pinter, International Institute for Sustainable Development, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 18 **Reducing Regulatory Barriers to Trade: Lessons for Canada from the European Experience**, Ramesh Chaitoo and Michael Hart, Centre for Trade Policy and Law, Carleton University, under contract with Industry Canada, 1997.

No. 19 **Analysis of International Trade Dispute Settlement Mechanisms and Implications for Canada's Agreement on Internal Trade**, E. Wayne Clendenning and Robert J. Clendenning, E. Wayne Clendenning & Associates Inc., under contract with Industry Canada, 1997.

No. 20 **Aboriginal Businesses: Characteristics and Strategies for Growth**, David Caldwell and Pamela Hunt, Management Consulting Centre, under contract with Aboriginal Business Canada, Industry Canada, 1998.

No. 21 **University Research and the Commercialization of Intellectual Property in Canada,** Wulong Gu and Lori Whewell, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 1999.

No. 22 **A Regional Perspective on the Canada-U.S. Standard of Living Comparison,** Raynald Létourneau and Martine Lajoie, Micro-Economic Policy Analysis, Industry Canada, 2000.

No. 23 **Linkages Between Technological Change and Productivity Growth**, Steven Globerman, Western Washington University, under contract with Industry Canada, 2000.

No. 24 **Investment and Productivity Growth – A Survey From the Neoclassical and New Growth Perspectives**, Kevin J. Stiroh, Federal Reserve Bank of New York, under contract with Industry Canada, 2000.

No. 25 **The Economic Determinants of Innovation**, Randall Morck, University of Alberta, and Bernard Yeung, New York University, under contract with Industry Canada, 2000.

No. 26 **SMEs, Exports and Job Creation: A Firm-Level Analysis**, Élisabeth Lefebvre and Louis A. Lefebvre, CIRANO and École Polytechnique de Montréal, under contract with Industry Canada, 2000.

CANADA IN THE 21ST CENTURY SERIES

No. 1 **Global Trends: 1980-2015 and Beyond**, J. Bradford DeLong, University of California, Berkeley, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 2 **Broad Liberalization Based on Fundamentals: A Framework for Canadian Commercial Policy**, Randy Wigle, Wilfrid Laurier University, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 3 **North American Economic Integration: 25 Years Backward and Forward**, Gary C. Hufbauer and Jeffrey J. Schott, Institute for International Economics, Washington (D.C.), under contract with Industry Canada, 1998.

No. 4 **Demographic Trends in Canada, 1996-2006: Implications for the Public and Private Sectors**, David K. Foot, Richard A. Loreto, and Thomas W. McCormack, Madison Avenue Demographics Group, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 5 **Capital Investment Challenges in Canada**, Ronald P.M. Giammarino, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 6 **Looking to the 21st Century – Infrastructure Investments for Economic Growth and for the Welfare and Well-Being of Canadians**, Christian DeBresson, Université du Québec à Montréal, and Stéphanie Barker, Université de Montréal, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 7 **The Implications of Technological Change for Human Resource Policy**, Julian R. Betts, University of California, San Diego, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 8 **Economics and the Environment: The Recent Canadian Experience and Prospects for the Future**, Brian R. Copeland, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 9 **Individual Responses to Changes in the Canadian Labour Market**, Paul Beaudry and David A. Green, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 10 **The Corporate Response – Innovation in the Information Age**, Randall Morck, University of Alberta, and Bernard Yeung, University of Michigan, under contract with Industry Canada, 1998.

No. 11 **Institutions and Growth: Framework Policy as a Tool of Competitive Advantage for Canada**, Ronald J. Daniels, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1998.

PERSPECTIVES ON NORTH AMERICAN FREE TRADE SERIES

No. 1 **Can Small-Country Manufacturing Survive Trade Liberalization? Evidence from the Canada-U.S. Free Trade Agreement**, Keith Head and John Ries, University of British Columbia, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 2 **Modelling Links Between Canadian Trade and Foreign Direct Investment,** Walid Hejazi and A. Edward Safarian, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 3 **Trade Liberalisation and the Migration of Skilled Workers,** Steven Globerman, Western Washington University and Simon Fraser University, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 4 **The Changing Industry and Skill Mix of Canada's International Trade**, Peter Dungan and Steve Murphy, Institute for Policy Analysis, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

No. 5 **Effects of the Canada-United States Free Trade Agreement on Interprovincial Trade**, John F. Helliwell, University of British Columbia, Frank C. Lee, Industry Canada, and Hans Messinger, Statistics Canada, 1999.

No. 6 **The Long and Short of the Canada-U.S. Free Trade Agreement,** Daniel Trefler, University of Toronto, under contract with Industry Canada, 1999.

MONOGRAPH

Industry-Level Productivity and International Competitiveness Between Canada and the United States, edited by Dale W. Jorgenson, Harvard University, and Frank C. Lee, Industry Canada, 2001.

RESEARCH VOLUME SERIES

No. 1 **Foreign Investment, Technology and Economic Growth**, Donald G. McFetridge ed., University of Calgary Press, 1991.

No. 2 **Corporate Globalization Through Mergers and Acquisitions**, L. Waverman ed., University of Calgary Press, 1991.

No. 3 **Multinationals in North America**, Lorraine Eden ed., University of Calgary Press, 1994.

No. 4 **Canadian-Based Multinationals**, Steven Globerman ed., University of Calgary Press, 1994.

No. 5 **Corporate Decision-Making in Canada**, Ronald J. Daniels and Randall Morck eds., University of Calgary Press, 1995.

No. 6 **Implications of Knowledge-Based Growth for Micro-Economic Policies,** Peter Howitt ed., University of Calgary Press, 1996.

No. 7 **The Asia Pacific Region in the Global Economy: A Canadian Perspective,** Richard G. Harris ed., University of Calgary Press, 1996.

No. 8 **Financing Growth in Canada**, Paul J.N. Halpern ed., University of Calgary Press, 1997.

No. 9 **Competition Policy and Intellectual Property Rights in the Knowledge-Based Economy**, Robert D. Anderson and Nancy T. Gallini eds., University of Calgary Press, 1998.

JOINT PUBLICATIONS

Capital Budgeting in the Public Sector, in collaboration with the John Deutsch Institute, Jack Mintz and Ross S. Preston eds., 1994.

Infrastructure and Competitiveness, in collaboration with the John Deutsch Institute, Jack Mintz and Ross S. Preston eds., 1994.

Getting the Green Light: Environmental Regulation and Investment in Canada, in collaboration with the C.D. Howe Institute, Jamie Benidickson, G. Bruce Doern, and Nancy Olewiler, 1994.

To obtain copies of documents published under Industry Canada's Research Publications Program, please contact:

Publications Officer
Micro-Economic Policy Analysis
Industry Canada
5th Floor, West Tower
235 Queen Street
Ottawa, Ontario, K1A 0H5

Tel.: (613) 952-5704
Fax: (613) 991-1261
E-mail: mepa.apme@ic.gc.ca

Programme des publications
de recherche d'Industrie Canada

LES RÉPERCUSSIONS SECTORIELLES DE L'APPLICATION DU PROTOCOLE DE KYOTO

Document de travail n° 34
Mars 2001

Programme des publications de recherche d'Industrie Canada

Le Programme des publications de recherche d'Industrie Canada fournit une tribune pour l'analyse des grands défis micro-économiques auxquels est confrontée l'économie canadienne et favorise un débat public éclairé sur ces questions. Sous l'égide de la Direction générale de l'analyse de la politique micro-économique, la collection des documents de recherche, qui s'inscrit dans le cadre de ce programme, englobe des documents de travail analytiques révisés par des pairs et des documents de discussion rédigés par des spécialistes sur des questions micro-économiques d'importance primordiale.

Les opinions exprimées dans ces documents de recherche ne reflètent pas nécessairement celles d'Industrie Canada ou du gouvernement fédéral.

Programme des publications
de recherche d'Industrie Canada

LES RÉPERCUSSIONS SECTORIELLES DE L'APPLICATION DU PROTOCOLE DE KYOTO

Par Randall Wigle
Université Wilfrid Laurier

Document de travail n° 34
Mars 2001

Also available in English

Données de catalogage avant publication (Canada)

Wigle, Randall

Les répercussions sectorielles de l'application du Protocole de Kyoto

(Document de travail; numéro 34)
Texte en anglais et en français disposé tête-bêche.
Titre de la p. de t. addit. : Sectoral impacts of Kyoto compliance.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN 0-662-65581-8
N° de cat. C21-24/34-2001

1. Gaz à effet de serre – Canada.
2. Environnement – Protection – Aspect de l'environnement – Canada.
3. Politique énergétique – Canada.
4. Ressources énergétiques – Canada.
I. Canada. Industrie Canada.
II. Titre.
III. Coll. : Document de travail (Canada. Industrie Canada); n° 34.

QC912.3W53 2001 363.738'747 C2001-980096-7F

Publié en mars 2001

Vous trouverez, à la fin du présent ouvrage, des renseignements sur les documents publiés dans le cadre du Programme des publications de recherche et sur la façon d'en obtenir des exemplaires. Des sommaires des documents de recherche et le texte intégral des cahiers publiés dans les diverses collections d'Industrie Canada et de notre bulletin trimestriel, *MICRO*, peuvent être consultés sur *STRATEGIS*, le service d'information commerciale en direct du Ministère, à l'adresse http://strategis.gc.ca.

Prière d'adresser tout commentaire à :

Someshwar Rao
Directeur
Analyse des investissements stratégiques
Analyse de la politique micro-économique
Industrie Canada
5e étage, tour Ouest
235, rue Queen
Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Tél. : (613) 941-8187
Fax : (613) 991-1261
Courriel : rao.someshwar@ic.gc.ca

REMERCIEMENTS

L'auteur voudrait remercier Karen Huff pour l'aide qu'elle a fournie aux premières étapes de ce projet. Des versions antérieures de l'étude ont été présentées à Industrie Canada en février et en septembre 1999, à l'Université de Guelph en octobre 1999 et à l'Université Simon Fraser en novembre 1999. L'auteur tient à souligner les nombreuses suggestions utiles qui lui ont été présentées à ces occasions et, depuis, dans ses contacts avec diverses personnes à Ressources naturelles Canada, Finances Canada et Industrie Canada, notamment Paul Monfils, Philip Bagnoli, Jeremy Rudin et plusieurs membres du personnel de l'APME. Les commentaires détaillés fournis par Marcel Mérette et Jean Mercenier ont été particulièrement utiles. L'auteur est seul responsable de toute erreur qui subsisterait.

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION ET APERÇU 1
   1.1 Aperçu 3
   1.2 Le Protocole de Kyoto 3
   1.3 Régimes d'échange de droits d'émission 4

2. TRAVAUX DE RECHERCHE ANTÉRIEURS 7
   2.1 Impact sur le PIB 7
   2.2 Prix des permis 8
   2.3 Effets sectoriels 10
   2.4 Vue d'ensemble 10

3. MODÈLE ET DONNÉES 13
   3.1 Aperçu non technique du modèle 13
      3.1.1 Utilisation d'énergie 14
      3.1.2 Production d'électricité 14
   3.2 Aperçu technique du modèle 15
   3.3 Analyse sectorielle : données de référence 16

4. ANALYSE DE LA CONFORMITÉ AU PROTOCOLE DE KYOTO 21
   4.1 Régimes nationaux de permis 22
      4.1.1 Ampleur de la réduction des émissions 24
      4.1.2 Effets sectoriels 25
      4.1.3 Exemptions sectorielles 27
      4.1.4 Régimes nationaux : résumé 31
   4.2 Régimes mondiaux de permis 32
      4.2.1 Effets sectoriels 34
      4.2.2 Exemptions sectorielles 36
      4.2.3 Régimes mondiaux : résumé 39

5. SOMMAIRE ET CONCLUSION 41

APPENDICE A : LES DONNÉES 43

APPENDICE B : PARAMÈTRES DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE 45

APPENDICE C : SCÉNARIO DU MAINTIEN DU STATU QUO 49
   C.1 Émissions 50

APPENDICE D : SENSIBILITÉ DES PARAMÈTRES 51
   D.1 Analyse limitée de sensibilité du modèle NCP 51
   D.2 Analyse limitée de sensibilité du modèle GCP 52

NOTES 55

BIBLIOGRAPHIE 59

PUBLICATIONS DE RECHERCHE D'INDUSTRIE CANADA 61

1. INTRODUCTION ET APERÇU[1]

Dans ce document, nous traitons de la conformité aux engagements pris par le Canada dans le cadre du Protocole de Kyoto en examinant principalement deux questions :

1. Quels secteurs seront vraisemblablement touchés le plus durement par les diverses modalités d'application du Protocole de Kyoto (et, à l'opposé, quels sont ceux qui pourraient en profiter)?

2. Comment les coûts de conformité varient-ils selon que le régime de mise en œuvre national comporte des exemptions pour certains secteurs?

L'analyse repose sur un modèle de simulation de l'économie mondiale. Plus précisément, nous avons utilisé un modèle CGE (modèle d'équilibre général calculable) statique fondé sur la base de données GTAP (*Global Trade Analysis Project*)[2]. Une caractéristique distinctive de cette analyse est sa ventilation sectorielle relativement détaillée : le modèle comprend 31 secteurs et 11 régions.

L'étude s'intéresse d'abord à deux politiques « de base » efficientes (régimes national et mondial de permis échangeables pour les émissions de carbone) en plaçant les résultats du modèle dans le contexte d'autres modèles CGE existants pour le carbone. Les effets de bien-être et les taxes sur les combustibles fossiles (carbone) obtenus dans le scénario de référence se rapprochent beaucoup des résultats publiés dans le numéro spécial de mai 1999 du *Energy Journal* pour la plupart des coûts du Protocole de Kyoto.

Devant le grand nombre de modèles disponibles pour analyser ces questions, nous avons choisi de mettre l'accent, dans cette étude, sur les effets sectoriels et les coûts de conformité *relatifs* de différents régimes nationaux de mise en œuvre, plutôt que sur les effets de bien-être ou les taxes sur les combustibles fossiles qui découlent de ces régimes. L'étude traite aussi de la façon dont les répercussions sectorielles de la conformité au Protocole de Kyoto varient selon les modalités de mise en œuvre qui pourraient être adoptées au pays. Cela permet de voir comment les coûts de conformité et les prix du carbone réagissent aux mêmes éléments de la structure des politiques.

Une partie de l'analyse porte sur l'application de ces mesures au niveau national dans le contexte d'une stratégie internationale donnée. Notamment, nous examinons des régimes de mise en œuvre nationaux qui ne s'appliqueraient qu'à quelques secteurs de l'économie. Voici nos principales constatations :

1. Si le Protocole de Kyoto est appliqué en réduisant les émissions canadiennes d'environ 25 p. 100 par rapport au scénario du statu quo en 2010[3], la plupart des secteurs à coefficient élevé d'énergie au Canada pourraient connaître un déclin marqué, mais le recul ne serait grave que dans le cas des industries du secteur de l'énergie. Les secteurs à coefficient élevé d'énergie qui ne fléchiront pas sont ceux qui bénéficient d'un avantage au plan de l'intensité en énergie ou en carbone sur leurs concurrents de l'annexe B (habituellement situés aux États-Unis). Cela pourrait atténuer ou même renverser le déclin dans ces secteurs. Les secteurs ayant les plus faibles coefficients énergétiques au Canada seront probablement touchés beaucoup moins et certains pourraient même connaître une expansion modérée.

   Ces conclusions supposent l'adoption d'un modèle de mise en œuvre efficient au Canada, par exemple une taxe d'application générale sur les combustibles fossiles ou un régime intégral

de permis d'émissions de carbone. Avec l'adoption d'un tel modèle de mise en œuvre, on estime que le coût de conformité pour le Canada serait peu élevé (moins de 1,5 p. 100 du PNB).

2. Si la mise en œuvre du Protocole de Kyoto s'accompagne d'un niveau significatif d'échanges internationaux de droits d'émission, les effets sectoriels négatifs élevés disparaissent dans une large mesure. Certaines industries à coefficient élevé d'énergie pourraient même connaître une *expansion* modérée malgré une intensité énergétique supérieure à celle de leurs concurrentes de l'annexe B. Il est plus probable qu'il en soit ainsi lorsque l'intensité énergétique d'une industrie est inférieure aussi à celle de ses concurrentes de pays non inscrits à l'annexe B. Dans ces secteurs, les exportations pourraient augmenter et les importation, diminuer.

3. Sans exemptions sectorielles, la conclusion générale qui se dégage est que, avec ou sans régime mondial d'échange de droits d'émission, les coûts de conformité au Protocole de Kyoto sont modérés. Si l'on accorde des exemptions sectorielles étendues ou si l'on s'écarte des instruments de mise en œuvre nationale efficients, cette conclusion pourrait changer.

4. Si les restrictions sur les émissions de carbone sont très ciblées, les régimes correspondants pourraient être extrêmement coûteux lorsque toutes les réductions d'émissions doivent avoir lieu au Canada. Plus les régimes de mise en œuvre sont ciblés, plus le coût qui en résulte pour le Canada est élevé. Dans un cas extrême, en l'occurrence lorsque tous les secteurs à haute intensité énergétique sont exemptés, les coûts de bien-être pourraient être de 4 à 6 fois plus élevés que dans un régime d'application générale[4]. Dans le cas où seul les secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés sont ciblés, les coûts de bien-être doublent approximativement, mais ce résultat dépend de la disponibilité d'une technologie de rechange permettant des réductions supplémentaires d'émissions à coût constant. Mais la question de savoir si une telle technologie sera disponible à un coût acceptable reste posée.

5. De telles exemptions sectorielles pourraient aussi changer radicalement le profil des effets sectoriels en l'absence d'échanges internationaux de droits d'émission. À vrai dire, les effets sectoriels en viennent à refléter le profil des exemptions plutôt que les coefficients de consommation d'énergie.

6. Avec échange international de droits d'émission, les exemptions sectorielles prévues dans les régimes nationaux de mise en œuvre des régions acheteuses comportent généralement des coûts plus élevés qu'un régime efficient, mais l'impact des exemptions est sensiblement moins lourd que sans échange de droits d'émission, même lorsque ces distorsions s'étendent à toutes les régions acheteuses. Plus les régimes de mise en œuvre sont ciblés, plus leur coût s'élève. Un effet de ces exemptions est de réduire la proportion des réductions d'émissions réalisées dans les régions de l'annexe B où s'appliquent des exemptions.

7. Lorsque des exemptions sectorielles sont accordées sans échange de droits d'émission, un pourcentage plus élevé des réductions d'émissions est alors imposé aux secteurs tenus de se conformer. Cela hausse le coût marginal des réductions d'émissions (taxe sur les combustibles fossiles). Dans certains cas, le taux de taxation est exorbitant. À noter que les taux de taxation pourraient être très élevés, même en présence d'une solution de rechange ne comportant aucune émission de carbone, si le secteur de l'électricité est exempté. Ces taxes exorbitantes sur les émissions de carbone traduisent un vice très sérieux dans la logique des exemptions excessives. Par contre, l'une des principales conséquences d'un régime mondial d'échange de droits d'émission est d'abaisser le niveau des réductions d'émissions au pays.

8. Une exemption à l'intention des utilisateurs finals semble avoir une incidence sensiblement moins grande sur le bien-être que des exemptions sectorielles, mais elle hausse le niveau de la taxe requise sur les émissions de carbone pour un objectif de réduction donné. Ce résultat ne dépend pas de la présence ou de l'absence d'un régime mondial d'échange de droits d'émission. En outre, même avec un régime mondial d'échange de droits d'émission, il ne réduit pas sensiblement la proportion des engagements pris dans le cadre du Protocole de Kyoto qui seront respectés grâce à des réductions d'émissions au Canada.

9. S'il y a échange international de droits d'émission entre les régions de l'annexe B et les autres régions dans le cadre de projets spécifiques, il est probable que de nombreuses possibilités de réductions des émissions à coût modique ne seront pas exploitées. Ces écarts par rapport à l'efficience dans les régions vendeuses hausseront vraisemblablement le prix des émissions de carbone dans le monde et les coûts de conformité.

1.1 Aperçu

L'étude est structurée comme suit. À la section 1.2, nous décrivons succinctement le contexte des politiques entourant le Protocole de Kyoto. Puis, au chapitre 2, nous passons en revue certains des travaux de recherche précurseurs. Le modèle utilisé (MRT-C) et les données connexes sont décrites brièvement au chapitre 3.

Le chapitre 4 renferme les principaux résultats des deux expériences « de base » et de certaines variations par rapport à celles-ci. Les deux expériences de base sont la conformité unilatérale de la part de tous les pays de l'annexe B et un régime international complet d'échange de droits d'émission. Dans les deux cas, les cibles sont atteintes soit par l'imposition de taxes sur les émissions de carbone soit par l'utilisation de permis échangeables. Telles qu'appliquées dans ce modèle, les deux mesures sont parfaitement équivalentes. Avec une répartition appropriée des recettes, nos résultats peuvent servir à décrire un régime mondial uniforme de taxation des émissions de carbone, comme celui proposé par Schneider et Goulder (1997), et un régime de permis d'émission échangeables[5]. Après avoir présenté les résultats de ces scénarios de base, nous examinons d'autres scénarios où la mise en œuvre au Canada ou à l'étranger s'écarte du sentier efficient.

Les principales constatations qui ressortent de l'étude sont résumées brièvement au chapitre 5.

1.2 Le Protocole de Kyoto

En vertu du Protocole de Kyoto, un grand nombre de pays à revenu moyen ou élevé se sont engagés à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre d'ici 2008-2012. Aux termes du Protocole, les pays de l'annexe B ont pris l'engagement de se conformer aux cibles d'émissions présentées au tableau 1.1. Le Protocole prévoit la possibilité d'échanges de droits d'émission dans certaines circonstances. Ces échanges peuvent se dérouler dans un cadre qui reste à négocier entre les nations de l'annexe B, mais celui-ci comprendra des échanges de droits projet par projet selon la formule de l'Application conjointe (AC). Les échanges entre les pays de l'annexe B et les autres pays sont autorisés dans le cadre du Mécanisme pour un développement propre (MDP).

La nature exacte et la réglementation des échanges de droits d'émission n'ont pas encore été précisées en détail, mais il semble clair que le but visé est de faire en sorte que ces échanges aboutissent à des réductions réelles des émissions de carbone (vraisemblablement par rapport aux niveaux d'émissions du statu quo) dans les pays non inscrits à l'annexe B qui, effectivement, offriraient des « services de réduction des émissions » aux pays de l'annexe B.

Tableau 1.1
Engagements pris à Kyoto
(en pourcentage des émissions de 1990)

Canada	94
Australie	108
Nouvelle-Zélande	100
Japon	94
États-Unis	93
Union européenne	92
Ancienne Union soviétique	100
Pays d'Europe centrale	92-95

1.3 Régimes d'échange de droits d'émission

En vertu d'un régime d'échange de droits d'émission ou de permis échangeables de rejets, une quantité fixe de permis d'émissions est vendue à l'encan ou est attribuée aux pollueurs. Ces derniers peuvent alors produire une quantité de pollution ne dépassant pas le nombre de permis obtenus[6]. Dans sa forme la plus pure, un régime d'échange de droits d'émission représente une solution efficiente qui incite tous les pollueurs à réduire leurs émissions. Si les permis sont vendus à l'encan par le gouvernement, leur prix par tonne de carbone sur le marché sera égal à la taxe sur les combustibles fossiles requise pour atteindre le même niveau d'émissions. Ainsi, le coût marginal des émissions sera le même pour tous les pollueurs en vertu d'une taxe ou d'un régime de permis. En outre, le produit de la taxe sur les émissions de carbone sera égal aux recettes que tirerait le gouvernement de la vente de permis en vertu d'un régime de droits d'émission. Un tel régime offre deux grands avantages par rapport à une taxe sur les émissions de carbone (redevances de pollution).

Le premier avantage d'un régime d'échange de droits d'émission est qu'il abaisse les coûts de conformité pour les pollueurs. Si certains des permis sont remis gratuitement aux pollueurs, les coûts de conformité seront inférieurs à ceux d'un régime de redevances de pollution visant les mêmes cibles d'émissions. Même si les pollueurs assument des frais d'assainissement en vertu des deux régimes, ils n'ont pas à débourser autant pour obtenir les permis que le montant qu'ils verseraient en redevances.

Le second avantage d'un régime d'échange de droits d'émission est qu'il offre une certaine souplesse dans la répartition du fardeau total de réduction des émissions. Dans un régime national de permis, on peut aider financièrement certains secteurs en leur accordant une plus grande proportion des permis, tout en maintenant une forte incitation à réduire la pollution. Si les gouvernements décident d'appliquer le principe de l'« antériorité », certains permis seront remis gratuitement à des entreprises selon une règle de répartition quelconque. Habituellement, les permis sont attribués aux entreprises en fonction de leur part historique des émissions polluantes ou de l'emploi. Même si des permis sont remis gratuitement à des entreprises, ils ont une valeur si une entreprise est en mesure de réduire ses émissions polluantes à un coût moindre que le prix des permis sur le marché. Dans le modèle MRT-C, les permis sont identiques à une taxe sur les émissions de carbone parce que le marché des permis est, par hypothèse, parfaitement concurrentiel et que toutes les recettes vont à un consommateur dans chaque région.

Dans un régime international d'échange de droits d'émission comme celui envisagé dans le Protocole de Kyoto, les nations plus pauvres peuvent être incitées à réduire leur pollution sans devoir assumer la totalité des coûts de conformité. De fait, un régime de permis pourrait être conçu de manière à

ce que les nations pauvres n'aient à supporter aucun fardeau supplémentaire lié à la réduction de la pollution.

En pratique, le fonctionnement des régimes d'échange de droits d'émission a varié considérablement. Le régime d'échange de droits de rejets d'anhydride sulfureux administré par l'Environmental Protection Agency aux États-Unis est considéré comme une réussite[7], tandis que de nombreux autres régimes d'échange de droits d'émission ont été entravés par divers problèmes qui en ont limité l'attrait ou la faisabilité, réduisant du même coup les économies potentielles de cette formule[8].

Au cours des derniers mois, l'Union européenne a donné un contenu formel à sa proposition de limiter les achats de permis d'émissions polluantes entre nations à une proportion donnée des émissions de référence, calculée selon une formule préétablie. On voudrait ainsi s'assurer que tous les pays réalisent au moins une partie de leurs réductions d'émissions polluantes à l'intérieur de leurs frontières. Il est à prévoir que ces contraintes hausseront – peut-être fortement – le coût global de la conformité, selon la rigueur des restrictions imposées aux échanges de droits d'émission.

Même si on ne limite pas les échanges internationaux de droits d'émission, les régimes mondiaux d'échange de permis ne seront vraisemblablement pas efficients, pour diverses raisons liées aux plans de mise en œuvre adoptés individuellement par les pays. L'expérience tirée des échanges de droits d'émission par projet individuel a montré que les frais généraux de repérage des occasions d'échanges de permis et de vérification des paramètres ont sérieusement restreint le niveau des échanges (et les économies réalisées). En outre, si les régimes nationaux (régime de permis ou taxe sur les émissions de carbone) ne s'appliquent qu'à certains secteurs, par exemple ceux qui ont les coefficients de pollution les plus élevés, cela entravera certains échanges qui pourraient contribuer à abaisser les coûts.

En limitant l'effort de réduction des émissions aux secteurs les plus polluants, on peut tenter d'abaisser les coûts administratifs liés à la surveillance d'un grand nombre de petits émetteurs. Dans ce cas, les industries à faible intensité énergétique pourraient être exemptées, dans le but de cibler les efforts de réduction de la pollution sur les plus gros émetteurs. La logique opposée (exempter les secteurs les plus polluants) repose sur l'argument voulant que les restrictions soient « trop » coûteuses pour les entreprises de ces secteurs[9]. En poussant cette logique à l'extrême et en exemptant tous les secteurs sauf les moins polluants, on hausserait considérablement les coûts de conformité pour une cible d'émissions donnée.

Dans tous ces cas, les restrictions imposées dans un pays hausseront les coûts de conformité en supprimant l'incitation qu'auront certaines catégories d'émetteurs à réduire leur pollution. Un document de travail récent met en relief certains des problèmes analytiques et des enjeux liés à l'application de telles mesures lorsque les nations adoptent différentes approches en matière de politique[10].

2. TRAVAUX DE RECHERCHE ANTÉRIEURS

Nous débutons en résumant brièvement certains points saillants qui ressortent de la documentation sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans les pays de l'OCDE et les pays de l'annexe B.

2.1 Impact sur le PIB

Une étude récente[11] donne une idée des répercussions sur le PIB de la stabilisation des émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'énergie au Canada à leur niveau de 1990, ce qui représenterait une réduction légèrement inférieure à celle convenue par le Canada dans le Protocole de Kyoto[12]. Trois types de modèles ont été utilisés pour évaluer les coûts de la réduction des émissions de gaz à effet de serre liées à la production d'énergie. Les modèles d'équilibre général calculables (CGE) sont des modèles de simulation micro-économique qui (entre autres choses) tiennent compte de la réaffectation sectorielle des ressources en réponse à une politique donnée. Ces modèles font ressortir la façon dont certaines mesures influeront vraisemblablement sur l'équilibre à moyen et à long terme de l'économie. On les appelle parfois des modèles descendants (TDM) parce que leur représentation des technologies énergétiques est plus schématique que d'autres, en particulier les modèles ascendants (BU). Ces derniers modèles reposent habituellement sur un traitement très détaillé des technologies énergétiques, mais n'offrent qu'une représentation schématique de l'économie dans son ensemble. Ils tracent les conséquences de diverses mesures en définissant la combinaison de technologies viable dans le contexte d'une politique donnée. Enfin, les modèles macro-économiques mettent l'accent sur le déséquilibre ou les mouvements cycliques de l'économie et, ainsi, font ressortir la façon dont une politique influera vraisemblablement sur le cheminement de l'économie vers l'équilibre ou hors de celui-ci.

L'éventail des estimations découlant de ces trois types de modèles est présenté au tableau 2.1. Les pertes de PIB ont trait à l'an 2010 dans la plupart des cas.

Tableau 2.1
Éventail des résultats des modèles

Stabilisation au niveau de 1990			
	Éventail		
Variable	**CGE**	**BU**	**Macro**
Perte de PIB en 2010 (%)	0,5-1,8	0*-0,5	0,4-2,3

* Certains affirment qu'il pourrait y avoir un gain au niveau du PIB.

À une exception près, ces études ne tiennent pas compte de l'existence possible d'un régime mondial d'échange de permis. Dans la plupart des cas, les modèles calculent les effets sur le PIB, par opposition aux effets de bien-être, puisque de nombreux modèles ne peuvent calculer les effets de bien-être. Le modèle DRI (1997) est un modèle macro-économique qui fait état des pertes de PIB plutôt que des pertes de bien-être[13]. La perte de PIB varie de 1,5 à 1,7 p. 100 dans le scénario d'une stabilisation des émissions à leur niveau de 1990 en 2010. Utilisant un modèle CGE, McKitrick (1997) constate que le PNB pourrait augmenter ou diminuer par suite d'une stabilisation des émissions à leur niveau de 1990 en 2000.

Une taxe environnementale comporte un double dividende lorsque non seulement elle incite à réduire les émissions (corrigeant ainsi une distorsion antérieure), mais qu'elle le fait à un coût négatif en permettant une diminution d'autres taxes. Ainsi, si les charges sociales dans une économie sont élevées, elles peuvent décourager l'emploi, imposant alors un coût économique. Mais si une taxe

environnementale engendre suffisamment de recettes pour permettre une réduction de ces charges salariales, l'économie pourrait, en principe, profiter d'une expansion L'observation faite par McKitrick d'un gain de bien-être repose sur un double dividende important, alimenté par une élasticité de l'offre de travail assez élevée.

D'autres études consacrées à la question des permis sont généralement arrivées à la conclusion que l'échange international de permis pourrait réduire les coûts de conformité (au niveau du PIB et du bien-être). La baisse est très importante si l'on permet des échanges internationaux de droits d'émission, mais plus modeste si les échanges sont limités aux pays de l'annexe B. Une exception à cet égard est l'étude DRI (1997), qui montre des pertes sensiblement plus élevées avec un régime international de permis échangeables, même en supposant un prix très modique pour les permis d'émissions de carbone.

Un récent numéro spécial du *Energy Journal* renferme de nombreuses estimations révisées provenant de modèles de l'incidence du Protocole de Kyoto sur le bien-être ou le PIB au Canada. Dans un cas que nous examinons plus loin, les résultats du modèle ont trait à une région regroupant l'OCDE, l'Australie et la Nouvelle-Zélande. Certains de ces résultats sont présentés au tableau 2.2. Pour une réduction unilatérale de la pollution (sans régime d'échange), les résultats montrent une baisse variant entre 0,9 p. 100 dans le modèle MS-MRT (« Autres pays de l'OCDE ») et 2,2 p. 100 dans le modèle GTEM[14]. Avec un régime international de permis échangeables, la baisse varie entre 0,2 p. 100 (GTEM) et 0,6 p. 100 (G-Cubed – « Autres pays de l'OCDE »). Élément d'importance capitale, toutes ces études arrivent à la conclusion qu'un régime mondial d'échange de permis réduirait considérablement les pertes de bien-être ou de PNB découlant de l'application du Protocole de Kyoto.

Tableau 2.2
Résultats de certains modèles : Protocole de Kyoto en 2010

		Taxe sur les émissions de carbone ($/tonne)		Bien-être/PIB (pourcentage)	
Modèle	**Pays / région**	**Sans échanges**	**Échanges mondiaux**	**Sans échanges**	**Échanges mondiaux**
SGM	Canada	350 $US92	26 $US92	s.o.	-0,5
AIM	Canada	180 $US95	40 $US95	s.o.	s.o.
MS-MRT	Autres, OCDE	249 $US95	31 $US95	-0,9	-0,3
GTEM	Canada	835 $US92	114 $US92	-2,2	-0,2
G-Cubed	Autres, OCDE	261 $US95	61 $US95	-1,2	-0,6

2.2 Prix des permis

Les études portant sur les réductions unilatérales des émissions de dioxyde de carbone s'intéressent au niveau de la taxe sur les combustibles fossiles requis pour atteindre une cible donnée d'émissions, de façon indépendante, dans chaque pays. Elles supposent que les pays réalisent toutes leurs réductions d'émissions à l'intérieur de leurs frontières. Comme nous l'avons indiqué précédemment, les taxes sur les émissions de carbone équivalent au prix des permis dans de nombreuses études.

Les résultats de ces études montrent que, pour une expérience donnée, les taxes sur les combustibles fossiles au Canada figurent soit parmi les moins élevées soit parmi les plus élevées au monde. Les études plus récentes ont tendance à situer le prix des permis canadiens à un niveau légèrement plus élevé qu'aux États-Unis, mais à un niveau inférieur à celui du Japon ou de l'Europe de l'Ouest.

Une liste partielle apparaît au tableau 2.3. Dans tous les cas où cela était possible, les taxes présentées sont celles qui devraient prévaloir en 2010.

La plupart des études arrivent à la conclusion que les coûts marginaux de la réduction des émissions de CO_2 que le Canada devra assumer sont parmi les plus élevés. Cela est souvent attribué aux principaux facteurs suivants :

1. Déjà, le Canada dépend très peu du charbon. L'une des façons les moins coûteuses de réduire les émissions de CO_2 est de remplacer le charbon par le gaz naturel, notamment dans la production d'électricité. En raison de son faible niveau de consommation de charbon, le Canada ne peut réaliser qu'une baisse modeste de ses émissions, même en réduisant de façon considérable sa consommation actuelle de charbon. En 1995, environ 20 p. 100 des émissions de CO_2 au Canada provenaient du charbon. Ce niveau se compare à une moyenne de plus de 30 p. 100 dans les pays d'Europe de l'Ouest et de près de 40 p. 100 aux États-Unis.

2. Le Canada dépend déjà fortement de l'énergie hydroélectrique. En outre, selon les projections, le ratio de l'électricité produite sans émissions de carbone (énergie nucléaire, hydroélectrique et renouvelable) devrait être l'un des plus élevés au monde en 2010, soit près de 70 p. 100 en l'absence de toute mesure liée à l'application du Protocole de Kyoto[15]. Si l'on croit que les possibilités d'expansion de la production d'énergie hydroélectrique ou nucléaire sont limitées, cela vient restreindre encore davantage la capacité de réduction des émissions.

Le modèle GTEM, du Australian Bureau of Agricultural and Resource Economics, est celui qui donne l'estimation la plus élevée de la taxe sur les combustibles fossiles au Canada, soit 835 dollars par tonne de carbone. Ce modèle ne suppose aucune capacité supplémentaire de production d'énergie nucléaire ou hydroélectrique. La deuxième estimation la plus élevée de la taxe sur les émissions de carbone au Canada est celle de l'étude DRI (1997) qui, effectivement, fait la même hypothèse.

Tableau 2.3
Résultats de certains modèles pour la « taxe » sur les émissions de carbone

Taxe canadienne sur les émissions de carbone sans échanges internationaux de permis ($/tonne)			
Étude	**Cas**	**Taxe**	**Rang**
McKitrick, 1997	1990	20 $CAN 95	(en 2000)
DRI, 1997	1990	325 $CAN 90	faible
Kainuma et coll., 1998	Kyoto	150 $US 92	élevé
Rutherford, 1998	Kyoto	225 $US 95	élevé
McKibbin et coll., 1998	1990	213 $US 95	élevé
Tulpulé et coll., 1999	Kyoto	835 $US 92	élevé
avec échanges internationaux de permis ($/tonne)			
Étude	**Cas**	**Taxe**	**Échange**
Nordhaus et Boyer, 1998	Kyoto	11 $US 90	mondial
Edmonds et coll., 1997	Kyoto	26 $US 9?	mondial
Kainuma et coll., 1998	Kyoto	50 $US 92	mondial
McKibbin et coll., 1998	1990	91 $US 95	OCDE
Tulpulé et coll., 1999	Kyoto	114 $US 92	OCDE

2.3 Effets sectoriels

Il y a relativement peu d'analyses détaillées des effets sectoriels d'une réduction des émissions de gaz à effet de serre au Canada. Le tableau 2.4 montre les changements en pourcentage dans la production sectorielle selon les trois scénarios pertinents de l'étude DRI (1997). Les secteurs marqués d'un † sont ceux dont la structure de coûts comporte la part la plus élevée de produits énergétiques en valeur. Les secteurs marqués d'un ‡ sont ceux dont la structure de coûts comporte la part la moins élevée de produits énergétiques en valeur[16].

Voici la description de ces scénarios :

1990 Réduction des émissions au niveau de 1990 d'ici 2010.

-10 % Réduction des émissions de 10 p. 100 sous leur niveau de 1990 d'ici 2010.

IPT Réduction des émissions à leur niveau de 1990 d'ici 2010, avec échange international de permis parmi les nations de l'annexe B.

Il semble clair que les effets sectoriels traduisent beaucoup plus que les parts initiales de l'énergie en valeur. Un facteur important qui influe sur ces effets sectoriels est la disposition des recettes que touchent les industries ayant reçu gratuitement des permis dans les scénarios « 1990 » et « -10 % ». Dans ces cas, la production d'un secteur à coefficient élevé d'énergie pourrait ne pas diminuer autant (peut-être même augmenter) du fait qu'une partie des recettes tirées des permis est consacrée à de nouveaux investissements[17].

Une analyse des effets sectoriels dans les pays de l'OCDE de la conformité au Protocole de Kyoto est présentée dans Manne (1998). Cette étude a un caractère préliminaire, mais elle indique néanmoins que les États-Unis et le Japon (au départ, d'importants exportateurs nets de produits manufacturés à coefficient élevé d'énergie) pourraient subir une concurrence accrue de la part de pays non inscrits à l'annexe B sur les marchés d'exportation.

2.4 Vue d'ensemble

Le tour d'horizon des études publiées a fait ressortir tout un éventail de taxes sur les émissions de carbone et de pertes de bien-être découlant de l'application du Protocole de Kyoto. Certaines études laissent penser que la problématique de la réduction des émissions de dioxyde de carbone sera relativement épineuse pour le Canada. Parmi les pays de l'OCDE, le Canada a un coefficient de consommation d'énergie relativement élevé, mais un coefficient moins élevé d'émissions de carbone en raison d'une faible dépendance à l'égard du charbon et d'une forte dépendance à l'égard de l'hydroélectricité. Malheureusement, ces deux facteurs pourraient compliquer le défi de la réduction des émissions de carbone. L'une des façons les moins coûteuses d'abaisser les émissions de CO_2 est de réduire la quantité de charbon utilisé dans la production d'électricité. Aux États-Unis, la moitié de l'électricité est produite à partir du charbon. La proportion au Canada est d'environ 7,5 p. 100. En conséquence, les possibilités de « réduction » de la pollution à coût modique y sont limitées.

Tableau 2.4
Effets sectoriels de l'étude DRI
(changement en pourcentage)

Secteur	1990	-10 %	IPT
Agriculture †	-0,6	-1,3	-0,9
Exploitation forestière	-0,1	-0,5	-0,6
Pêche et piégeage	0,0	0,0	0,0
Mines métalliques	1,2	1,4	-0,2
Mines non métalliques †	-1,6	-2,9	-1,1
Combustibles minéraux	-7,0	-8,2	-1,5
Services miniers †	-1,9	-4,8	-1,0
Aliments, boissons et tabac ‡	-0,2	-0,8	-0,9
Caoutchouc et plastiques †	-1,6	-3,6	-1,8
Cuir, textiles et vêtements ‡	0,8	1,8	-0,3
Papier et produits connexes	-0,4	-1,1	-0,9
Imprimerie et édition	-1,2	-3,0	-2,1
Produits chimiques †	-1,1	-1,9	-0,4
Produits du pétrole et du charbon †	-15,3	-19,7	-6,3
Bois	-2,7	-5,1	-2,6
Meubles et appareils	-3,7	-7,3	-4,1
Métaux primaires †	-0,5	-1,2	-0,7
Métaux ouvrés	-1,8	-3,7	-1,9
Machines ‡	-3,1	-5,2	-2,3
Matériel de transport ‡	-0,5	-2,9	-2,1
Produits électriques ‡	-3,6	-7,8	-3,6
Minéraux, sauf les métaux †	-1,8	-5,2	-5,0
Fabrication diverse ‡	-0,1	-0,5	-0,5
Construction ‡	-2,4	-5,8	-3,5
Transports et entreposage	-0,1	-0,5	-0,5
Communications	-2,3	-3,6	-1,3
Production d'énergie électrique †	-3,0	-2,7	-1,5
Autres services publics	-13,1	-17,5	-4,8
Commerce de détail	-2,4	-5,0	-2,4
Commerce de gros	-4,2	-7,7	-3,3
Finances, assurances et immobilier	-1,5	-2,8	-1,4
Autres services ‡	-0,6	-1,6	-0,9
Ensemble de l'économie	-1,7	-3,2	-1,5

† Secteurs dont la structure de coûts comporte la part la plus élevée de produits énergétiques en valeur.

‡ Secteurs dont la structure de coûts comporte la part la moins élevée de produits énergétiques en valeur.

Étant donné que l'énergie hydroélectrique occupe déjà une place si importante au Canada, la part de l'intrant « carbone » dans le secteur de la production d'électricité est faible au départ. Une réduction des émissions liées à la production d'électricité nécessiterait une expansion de la capacité de production non fondée sur les combustibles fossiles. Malheureusement, il semble peu probable que le Canada réalise une expansion nette de sa capacité de production d'électricité non fondée sur les combustibles fossiles à des taux comparables à ceux observés aujourd'hui.

3. MODÈLE ET DONNÉES

3.1 Aperçu non technique du modèle

Dans ce chapitre, nous présentons un bref aperçu non technique du modèle. Des détails supplémentaires sont fournis dans les chapitres suivants ainsi que dans la documentation consacrée au modèle[18].

Le modèle MRT-C est un modèle CGE statique conventionnel tiré du modèle GTAPinGAMS de Tom Rutherford[19]. Les modèles CGE représentent l'économie mondiale par des relations offre-demande interdépendantes pour les biens et les facteurs de production primaires comme le travail et le capital.

Le modèle est d'abord utilisé pour construire un scénario de maintien du statu quo à l'équilibre en 2010. Les dotations en capital, en travail et en ressources des régions figurant dans le modèle augmentent conformément aux prévisions disponibles sur la croissance économique jusqu'à 2010. Dans le scénario du maintien du statu quo, les émissions de carbone correspondent aussi aux prévisions disponibles jusqu'à 2010. L'« équilibre » du modèle du maintien du statu quo est ensuite perturbé en introduisant une expérience basée sur le Protocole de Kyoto. Les effets sont présentés par rapport au scénario du maintien du statu quo. Des détails supplémentaires au sujet de ce scénario figurent à l'appendice C.

Lorsque des taxes sur les émissions de carbone sont introduites dans ce modèle, elles haussent les coûts des biens pour les consommateurs selon leur contenu en carbone. En conséquence, les prix relatifs des biens des différents secteurs d'un pays changent en fonction de leur contenu en carbone. Les prix relatifs des biens entre les pays dépendent du contenu relatif en énergie et en carbone des biens des divers pays *et* de la mesure dans laquelle ces biens sont assujettis à une taxe quelconque sur les émissions de carbone ou à un instrument semblable.

Selon la nature de l'instrument de politique employé pour réduire les émissions de carbone, les recettes gouvernementales peuvent aussi augmenter. Cela influera sur les revenus des ménages parce que, dans notre étude, les recettes fiscales sont habituellement transmises aux consommateurs.

Le modèle CGE utilise les données actuelles sur la composition des intrants dans les différents secteurs et sur la répartition correspondante des coûts pour simuler l'impact d'un changement de politique dans un pays et entre pays. Les biens sont échangés sur le marché mondial, initialement de manière à refléter les données observées sur le commerce international par produit.

La combinaison de ces effets relatifs de prix et de revenu influera aussi sur les marchés des facteurs primaires (travail, capital et ressources). Normalement, la valeur des ressources utilisables uniquement dans la production d'un bien fortement taxé devrait diminuer après l'imposition de la taxe. Cela sera probablement le cas, par exemple, des ressources employées uniquement dans l'industrie du charbon d'un pays qui se conformerait aux engagements pris dans le Protocole de Kyoto. Pour les facteurs (comme le travail) que l'on suppose mobiles entre les secteurs, les conséquences de ces effets relatifs de prix et de revenu sont souvent difficiles à prévoir.

Enfin, les répercussions sur les marchés des facteurs ont des effets de rétroaction sur les marchés des biens. Cela vient compliquer encore la tâche de prédire la façon dont la production évoluera dans un secteur par suite de l'application d'une mesure particulière. Le G dans CGE correspond à l'équilibre général, le processus par lequel toutes ces influences se combinent pour produire un nouvel équilibre.

Le modèle MRT-C est un modèle statique, ce qui veut dire qu'il ne modélise pas le processus d'accumulation du capital, d'investissement ou de dépréciation. On préfère habituellement les modèles dynamiques, qui tiennent explicitement compte des décisions d'investissement prises au fil du temps, pour faire l'examen de questions telles que le réchauffement planétaire, où l'horizon pertinent est assez lointain. Malheureusement, il serait difficile de résoudre avec une certaine fiabilité des modèles intertemporels compte tenu du niveau de détail sectoriel souhaitable dans la présente étude.

3.1.1 Utilisation d'énergie

Dans ce modèle, l'énergie utilisée pour la production et pour la demande finale est décrite de façon assez détaillée. Au niveau de la production, il peut y avoir substitution entre l'énergie et les facteurs primaires ou d'autres biens qui servent d'intrants. Il y a aussi d'importantes possibilités de substitution entre les sources d'énergie. Les utilisateurs d'énergie choisissent la combinaison de sources d'énergie qu'ils utiliseront en fonction des prix relatifs.

Les utilisateurs finals et intermédiaires d'énergie font une substitution entre l'électricité et les combustibles fossiles en fonction de leurs prix relatifs. De plus, ils font un choix entre divers combustibles fossiles. Encore une fois, les proportions des intrants employés dépendent des prix relatifs. Parce que le charbon est presque entièrement constitué de carbone, les taxes sur les émissions de carbone ont tendance à être plus élevées (par BTU) sur le charbon que sur les produits pétroliers raffinés. Une taxe proportionnelle sur le gaz naturel dépendrait de son coût original par BTU. Puisque le gaz naturel peut être moins coûteux que le charbon ou que le pétrole par BTU, il pourrait être assujetti à une taxe élevée sur les émissions de carbone (proportionnellement à sa valeur) même s'il a un taux relativement peu élevé d'émissions de carbone par BTU.

3.1.2 Production d'électricité

Le modèle comporte aussi trois secteurs de production d'électricité pour chaque région. L'un produit de l'électricité à partir de combustibles fossiles. Le second secteur englobe la production hydroélectrique, la production nucléaire et les autres formes de production d'électricité qui ne sont pas basées sur les combustibles fossiles à l'heure actuelle ou qui seront vraisemblablement adoptées dans le scénario du maintien du statu quo. Enfin, le troisième secteur de production « de rechange » produit de l'électricité sans émission de gaz à effet de serre. Ce secteur n'est pas profitable dans le scénario du maintien du statu quo, mais il devient accessible lorsque les taxes sur les émissions de carbone sont suffisamment élevées.

Dans les expériences fondées sur le Protocole de Kyoto, le secteur de la production d'électricité non liée aux combustibles fossiles est, par hypothèse, limité soit par la capacité hydroélectrique soit par la résistance du public à l'expansion de l'énergie nucléaire. Puisqu'une façon simple de réduire les émissions de dioxyde de carbone est de remplacer l'électricité produite à partir de combustibles fossiles par des sources d'énergie non fossiles, ces contraintes de capacité viennent limiter la mesure dans laquelle une région peut réduire ses émissions en développant la production d'électricité à partir de sources d'énergie autres que les combustibles fossiles.

Les contraintes de capacité imposées par hypothèse à la production d'électricité à partir de sources autres que les combustibles fossiles figurent au tableau 3.1. Elles sont exprimées en proportion de la capacité de production d'électricité à partir de sources non fossiles en 1995 dans le modèle. Elles sont fondées sur les projections de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) (1998), sauf pour le Canada, où une valeur de 1,0 a été employée en se basant sur les analyses de la Division des prévisions énergétiques de Ressources naturelles Canada (1998) et des discussions informelles. Pour de nombreuses régions, l'expansion projetée de la capacité de production d'électricité à partir de sources non fossiles sera suffisante pour combler les retraits probables de centrales de production nucléaires.

Tableau 3.1
Contraintes de capacité de production d'électricité à partir de sources non fossiles*

Pays / région	Écart
CAN	1,00
USA	1,00
JPN	1,05
EUR	1,05
OOE	1,05
CHN	3,16
FSU	1,17
CEA	1,05
ASI	1,85
MPC	1,85
ROW	1,85

* Ratio de la capacité maximale à la production d'électricité de sources non fossiles dans le scénario du maintien du statu quo. Voir l'appendice A pour une description des agrégations par région et par produit.

Par contre, le secteur de production de « rechange » n'est assujetti à aucune contrainte de capacité, mais il comporte des coûts sensiblement plus élevés que les secteurs de production d'électricité à partir de combustibles fossiles ou de sources non fossiles. La répartition des intrants dans le secteur de rechange est la même que dans le secteur de la production d'électricité à partir de sources non fossiles, mais les coûts unitaires de production y sont 67 p. 100 plus élevés[20].

3.2 Aperçu technique du modèle

1. Tous les biens produits sauf trois services sont commercialisables[21]. Le chevauchement (importation et exportation simultanées d'un produit par un pays) est pris en compte dans la spécification d'Armington. La substitution entre les biens intérieurs et les biens importés se produit à deux niveaux. Il y a d'abord substitution entre les importations provenant de sources étrangères concurrentes. Puis, il y a substitution entre le panier des importations et celui des biens nationaux.

2. Les avantages associés aux réductions des gaz à effet de serre ou des polluants atmosphériques traditionnels ne sont pas modélisés. En d'autres termes, aucune valeur n'est attribuée à l'air propre ou à un climat inchangé pour les ménages. L'analyse ne saisit que les effets de bien-être indirects du Protocole de Kyoto, par le biais des effets sur les coûts de production et les revenus réels. Par conséquent, la conformité à l'accord de Kyoto devrait toujours engendrer une perte de bien-être dans notre modèle. Cette perte doit être comparée à la valeur des avantages qui pourraient découler d'une atténuation du changement climatique.

3. La spécification de l'utilisation d'énergie est relativement simple. L'énergie est produite en tant que composite à élasticité de substitution constante (CES) de la composite des combustibles fossiles et de l'électricité. La composite des combustibles fossiles est une composite à élasticité de substitution constante (CES) des différents types de combustibles fossiles (charbon, produits pétroliers raffinés et gaz naturel).

Tableau 3.2
Écarts associés au Protocole de Kyoto*

Pays / région	Écart
JPN	27,285
CAN	24,725
USA	29,450
CEA	18,136
FSU	-14,284
EUR	27,051
OOE	27,119

* Réduction requise des émissions (en pourcentage) par rapport au scénario du maintien du statu quo. Pour l'ancienne Union soviétique, les engagements de Kyoto *dépassent* les émissions du scénario du maintien du statu quo. Voir l'appendice A pour une description des agrégations par région et par produit.

4. La production englobe les intrants intermédiaires axés sur l'énergie, les autres intrants intermédiaires et les facteurs primaires (capital et travail). Les proportions des intrants primaires et du panier de facteurs primaires axés sur l'énergie sont fixes. Il peut y avoir substitution entre l'énergie intermédiaire et le capital ou les facteurs sectoriels spécifiques dans la composite à élasticité de substitution constante. À son tour, cette composite peut être substituée au travail. SUBEV désigne l'élasticité de substitution entre l'énergie et le capital (présentée ci-après). SUBVA désigne l'élasticité de substitution entre la composite énergie-capital et le travail.

5. Il n'y a pas de possibilité de double dividende important. Il n'y a aucune taxe sur les facteurs dans les données du GTAP et, à ce stade, aucune décision relative à l'offre de travail dans le modèle. Les données du GTAP intègrent des renseignements détaillés concernant les taxes sur les produits et les mesures frontalières, mais non sur les taxes qui s'appliquent aux facteurs.

6. Toutes les mesures sont mises en œuvre sous la forme de régimes de permis et tous les permis sont initialement remis au consommateur représentatif de chaque région. Les permis ne sont pas exclusifs à une industrie. En d'autres termes, les recettes tirées de la vente de permis attribués à une industrie ne sont pas ajoutées aux recettes de cette dernière. Plutôt, elles reviennent au consommateur représentatif de la région (à titre de propriétaire des permis).

7. Bien que l'électricité produite soit identique, la production d'électricité à partir de combustibles fossiles (désignée ELY) se distingue de la production d'électricité sans combustibles fossiles (désignée NFE) qui, elle-même, se distingue de la technologie de rechange (désignée BST).

8. Le modèle prévoit une technologie de rechange pour la production d'électricité sans émissions de carbone. Cette technologie de production d'électricité sans émissions de carbone n'est pas utilisée dans le scénario du maintien du statu quo en raison de son coût trop élevé. Cependant, dans certaines des expériences examinées, cette technologie de rechange entre en jeu.

9. Le modèle ne prévoit pas explicitement d'amélioration exogène sur le plan énergétique, bien que cela soit implicite dans l'interprétation du scénario du maintien du statu quo. Ce scénario engendre des hausses des émissions de carbone qui se rapprochent du taux de croissance du PIB. Ces émissions ne jouent aucun rôle dans la détermination du scénario du maintien du statu quo,

de sorte qu'elles ont été ramenées à l'échelle des cibles estimatives de l'AIE et de Ressources naturelles Canada. Les expériences liées au scénario de base du Protocole de Kyoto correspondent donc à la suppression d'un certain pourcentage des émissions par rapport aux projections de l'AIE et de Ressources naturelles Canada. Les écarts dans les émissions pour le scénario de base sont présentés au tableau 3.2. L'inconvénient de cette approche est qu'elle empêche toute analyse de sensibilité des différences de croissance économique à moins de spécifier l'existence d'un lien exogène entre la croissance économique et la croissance des émissions polluantes.

3.3 Analyse sectorielle : données de référence

Le profil des effets sectoriels découlant de l'application du Protocole de Kyoto dépend d'un grand nombre de facteurs, dont peu ont manifestement une influence déterminante :

1. *L'intensité relative du carbone (et de l'énergie) par rapport aux autres industries au Canada*[22] – Cela est particulièrement important si la conformité signifie que toutes les réductions de pollution doivent avoir lieu au Canada[23]. Dans ce cas, la principale stratégie pour assurer la conformité aux engagements pris serait de déplacer la production des secteurs énergivores vers les secteurs ayant un coefficient énergétique moindre.

2. *L'intensité relative du carbone (et de l'énergie) dans la même industrie chez nos principaux fournisseurs d'importations et sur nos principaux marchés d'exportation* – Cela pourrait être aussi et même plus important lorsque la réduction se fait à l'échelle mondiale, en particulier lorsque les biens échangés sont de proches substituts de biens intérieurs. Dans la plupart des cas, les États-Unis sont le principal marché d'exportation du Canada et sa principale source d'importations. Si la part de l'énergie dans la structure des coûts d'une industrie est plus élevée au Canada qu'aux États-Unis, lorsque les deux pays réduiront leurs émissions de carbone, les importations auront tendance à augmenter et les exportations, à diminuer, provoquant dans les deux cas une baisse de la production au Canada.

3. *La situation des partenaires commerciaux en regard de la conformité au Protocole de Kyoto* – Si la conformité au Protocole entraîne une baisse des revenus réels sur les marchés d'exportation, cela aura tendance à faire fléchir les exportations canadiennes. Une baisse des revenus à l'étranger pourrait aussi faire diminuer le prix des importations au Canada.

À mesure que des restrictions seront appliquées aux émissions de carbone (par un régime de permis ou par l'imposition de taxes), le coût d'utilisation de l'énergie produite avec du carbone et sans carbone devrait augmenter. Le Canada affiche des niveaux relativement élevés d'intensité énergétique, mais (en raison de la part élevée de l'hydroélectricité) une intensité initiale de carbone relativement faible. Il semble que les taxes sur les émissions de carbone rendront le Canada plus concurrentiel par rapport aux États-Unis parce que l'économie canadienne a, au point de départ, un coefficient de carbone moins élevé. Cet effet pourrait facilement être compensé par le coefficient énergétique plus élevé du Canada, qui devient significatif en raison des hausses de coût de l'énergie produite à partir de carbone et d'autres sources engendrées par les restrictions du Protocole de Kyoto.

Tableau 3.3
Coûts de l'énergie pour le Canada et ses concurrents

Secteur*	Part	X/Q	X-Diff	M/Q	M-Diff
OMN	7,2	40,5	-	17,1	-
CRP	5,9	34,4	+	39,9	+
I-S	5,3	25,1	-	25,2	-
AGR	4,8	49,0	+	25,4	+
NMM	4,1	20,7	+	27,4	+
LAP	3,7	17,3	+	4,0	+
NFM	3,3	69,1	-	20,9	-
PPP	3,2	42,4	+	10,9	+
T-T	3,2	5,5	+	7,3	+
GDT	3,0	s.o.	-	s.o.	s.o.
WTR	2,9	s.o.	-	s.o.	s.o.
TEX	2,3	21,4	+	43,1	+
OSP	1,9	4,0	+	6,8	+
LUM	1,7	51,9	+	11,7	+
FRS	1,6	1,6	+	3,4	+
FMP	1,4	20,0	+	28,0	+
OMF	1,2	32,9	+	89,4	+
CNS	1,2	s.o.	=	s.o.	s.o.
PFD	1,1	16,3	+	14,1	+
OTN	1,0	45,9	+	33,9	+
OSG	1,0	3,4	+	2,5	+
OME	0,9	64,3	=	122,3	=
ELE	0,8	47,6	=	60,8	=
LEA	0,7	28,0	=	157,7	-
MVH	0,7	74,9	=	50,0	=
WAP	0,6	14,3	=	35,3	=
COL	6,9	75,8	-	16,3	-
CRU	1,8	49,9	=	21,0	-
GAS	1,5	53,7	-	1,3	-
P-C	4,5	13,0	-	6,9	-
ELY	7,6	4,1	-	0,0	s.o.

* Voir l'appendice A pour une description des agrégations par région et par produit.
Part : Part du coût total représentée par l'énergie.
X/Q, M/Q : Exportations (importations) en pourcentage de la production totale.
X-Diff, M-Diff : Avantage ou désavantage lié à la part des coûts représentée par l'énergie, par rapport au principal marché d'exportation (X) ou aux importations concurrentes (M).
+ La part de l'énergie dans la structure des coûts est plus élevée au Canada.
- La part de l'énergie dans la structure des coûts est moins élevée au Canada.
= L'écart entre les parts de l'énergie dans la structure des coûts ne dépasse pas 20 p. 100.

Bien que ces facteurs soient importants pour comprendre l'évolution des effets sectoriels, on doit se rappeler que les parts élevées des biens produits utilisés comme intrants intermédiaires constituent un élément clé du modèle et des données. Les secteurs ayant les plus hauts coefficients énergétiques (fer et acier, plastiques, extraction minière, etc.) produisent des biens qui servent principalement d'intrants intermédiaires. En conséquence, le profil des effets sectoriels pourrait aussi dépendre, dans une large mesure, d'un réseau complexe d'interdépendance. Un secteur qui pourrait s'attendre à subir un déclin en raison de sa forte intensité énergétique pourrait, au contraire, connaître une expansion si les secteurs qui achètent sa production sont favorisés par l'application du Protocole de Kyoto. Les modèles CGE sont employés parce qu'ils peuvent, en principe, intégrer tous ces liens. Malheureusement, la complexité inhérente des liens en présence pourrait rendre difficile l'explication de certains résultats sectoriels.

Le tableau 3.3 renferme des données pertinentes à l'intensité énergétique et à l'« ouverture » des secteurs entrant dans l'analyse. À noter que (comme dans tous les tableaux « sectoriels » subséquents) les secteurs non énergétiques sont classés par ordre décroissant, en allant du secteur dont la part de l'énergie dans les coûts totaux est la plus élevée en valeur, soit OMN (autres mines de minéraux), à celui où elle est la plus faible, soit WAP (vêtements à porter). Les secteurs énergétiques concluent le tableau.

Les tableaux sectoriels renferment habituellement des résultats pour le secteur de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles (ELY), l'industrie de la production d'électricité à partir de sources non fossiles (NFE) et le secteur de rechange de production d'électricité (BKS). Il n'y a aucun effet lié au commerce pour les secteurs NFE et BKS parce que les variations dans les échanges figurant sur la ligne ELY incluent les variations dans les échanges du bien homogène qu'est l'électricité.

4. ANALYSE DE LA CONFORMITÉ AU PROTOCOLE DE KYOTO

Dans ce chapitre, nous examinons des variantes des deux expériences de base visant à réduire les émissions de dioxyde de carbone provenant de l'utilisation de combustibles fossiles, conformément aux engagements pris par le Canada dans le Protocole de Kyoto. En vertu de ces engagements, le Canada doit réduire ses émissions de dioxyde de carbone liées à l'utilisation de combustibles fossiles à 94 p. 100 de leur niveau de 1990, par rapport au niveau projeté dans le scénario du maintien du statu quo pour 2010, soit en réduisant les émissions au Canada même soit en appuyant des réductions d'émissions polluantes ailleurs dans le monde. Ces réductions représentent près de 25 p. 100 du niveau des émissions prévues dans le scénario du maintien du statu quo en 2010. À moins d'indication contraire, tous les résultats sont présentés par rapport au scénario de référence décrit brièvement à l'appendice C.

Deux expériences de base sont envisagées :

NCP *Permis nationaux pour les émissions de carbone* – Dans cette expérience, chaque pays ou région de l'annexe B entrant dans le modèle doit réduire ses émissions de dioxyde de carbone provenant de l'utilisation de combustibles fossiles conformément aux engagements qu'il a pris dans le Protocole de Kyoto. Ces réductions sont accomplies grâce à un système de permis d'émissions de carbone. Ces permis sont tous vendus aux enchères et s'appliquent à l'utilisation de tous les combustibles fossiles au pays. Les utilisations intermédiaires, finales et gouvernementales de ces combustibles sont assujetties au régime de permis.

GCP *Permis mondiaux pour les émissions de carbone* – Dans cette expérience, chaque pays ou région de l'annexe B entrant dans le modèle doit réduire ses émissions de dioxyde de carbone provenant de l'utilisation de combustibles fossiles conformément aux engagements qu'il a pris dans le Protocole de Kyoto. Il peut le faire par une combinaison quelconque de réductions internes des émissions et d'achats de permis. Les pays ne figurant pas à l'annexe B qui réduisent leurs émissions peuvent vendre des permis équivalant à la différence entre leur contingent et leur niveau réel d'émissions.

Chaque pays de l'annexe B se voit attribuer des permis correspondant à son niveau cible d'émissions en vertu du Protocole de Kyoto. Chaque pays non inscrit à l'annexe B se voit attribuer des permis (en fait, un contingent) correspondant à ses émissions projetées en vertu du scénario du maintien du statu quo. Les permis (ou le contingent) attribués à chaque pays sont vendus aux enchères et s'appliquent à toute utilisation des combustibles fossiles. Les utilisations intermédiaires, finales et gouvernementales de ces combustibles sont, dans tous les cas, assujetties au régime de permis.

Dans ces scénarios de base, on fait l'hypothèse que le plan national de mise en œuvre (taxe universelle sur les émissions de carbone ou régime universel de permis d'émissions de carbone) est efficient compte tenu de sa portée nationale. Les régimes nationaux de taxes sur les émissions de carbone ou les régimes nationaux de permis concourront à une égalisation du coût marginal de réduction de la pollution pour chaque pollueur visé dans un pays.

Nous examinons ensuite certains scénarios où divers aspects du régime n'ont *pas* un ratio coût-efficacité optimal. Dans un cas, nous envisageons des exemptions sectorielles et, dans un autre, nous envisageons des dérogations par rapport au modèle efficient qui résulteraient de diverses imperfections du régime international de permis échangeables.

4.1 Régimes nationaux de permis

Si les pays sont tenus de respecter le niveau cible de réduction d'émissions auquel ils se sont engagés dans le Protocole de Kyoto essentiellement en réduisant les émissions polluantes sur leur territoire, cela pourra se faire au moyen d'un régime d'échange de droits d'émission. Chaque utilisateur de combustibles fossiles aura besoin de permis correspondant au contenu en carbone (et, partant, en CO_2) des combustibles fossiles qu'il consomme. Tel qu'indiqué précédemment, dans ce modèle la politique prend la forme d'un régime de droits d'émission échangeables, mais on peut l'envisager comme un régime de taxes sur les émissions de carbone aussi longtemps que les recettes provenant de ces taxes, les produits de la vente des permis et les rentes tirées de la vente des permis excédentaires reviennent tous au même consommateur.

Un sommaire des effets d'un régime « national » efficient de taxes sur les émissions de carbone ou de permis d'émissions de carbone est présenté au tableau 4.1. Dans ce tableau, les valeurs sont exprimées en milliards de dollars US de 1995. Les prix du carbone sont exprimés en dollars US de 1995 par tonne de carbone.

Tableau 4.1
Effets découlant de l'expérience NCP

Pays / région	Coût de bien-être (milliards de $)	Coût de bien-être (%)	Émissions de carbone (%)	Prix du carbone ($)
CAN	-7,02	-1,13	-24,73	255,12
USA	-52,01	-0,60	-29,45	231,16
JPN	-48,03	-1,09	-27,28	1 238,60
EUR	-126,02	-1,21	-27,05	930,96
OOE	-3,21	-0,72	-27,12	147,69
CHN	-6,28	-0,39	1,64	0,00
FSU	2,78	0,60	3,39	0,00
CEA	-1,10	-0,30	-18,14	96,13
ASI	-3,70	-0,24	1,92	0,00
MPC	-10,68	-0,72	1,81	0,00
ROW	-1,92	-0,06	1,57	0,00
WLD	-257,17	-0,78	-11,54	0,00

Les pertes de bien-être pour le Canada sont parmi les plus élevées de l'ensemble des régions en pourcentage, mais elles demeurent néanmoins modestes. Le Canada verrait son PIB reculer d'environ 1,1 p. 100. Tel qu'indiqué précédemment, on pourrait s'attendre à ce que l'effet de bien-être au Canada soit important (comparable à celui du Japon) parce que le Canada n'a que des possibilités limitées de réduire ses émissions polluantes à faible coût. Un autre facteur qui intervient dans le cas du Canada est le changement du prix des combustibles fossiles au niveau du producteur.

Tel qu'indiqué, deux façons peu coûteuses de réduire les émissions polluantes sont de remplacer le charbon dans la consommation d'énergie et d'accroître la capacité de production hydroélectrique. Le Canada utilise déjà très peu de charbon (notamment pour la production d'électricité) et n'a que des possibilités très limitées de remplacer le charbon. De même, l'hypothèse qui sous-tend cette analyse est que l'on ne peut faire aucun ajout net à la capacité hydroélectrique, ce qui écarte une autre option à faible coût de réduction des émissions polluantes.

Les effets sur les termes de l'échange contribuent aussi à hausser les coûts de bien-être pour le Canada (en pourcentage) par rapport aux autres régions. Les autres régions où les taxes sur le carbone

sont élevées (le Japon et l'Europe) sont d'importants importateurs nets de combustibles fossiles, tandis que le Canada est un petit exportateur net de ces produits. Par suite des réductions réalisées dans les régions de l'annexe B, le prix mondial des combustibles fossiles diminuera. Cela atténuera les pertes des régions qui sont de gros importateurs nets d'énergie (dont les États-Unis), mais augmentera les pertes du Mexique et de l'OPEP et, dans une mesure beaucoup plus limitée, du Canada. Les pertes des États-Unis seront modestes en pourcentage parce que ce pays utilise au départ beaucoup de charbon et pourrait aussi profiter des effets sur les termes de l'échange découlant de la baisse des prix mondiaux des combustibles fossiles.

La taxe requise sur les émissions de carbone dépasse 250 dollars. Cela signifie que la taxe sur les émissions de carbone du Canada est plus élevée que dans toutes les autres régions, sauf le Japon et l'Europe. La taxe sur les émissions de carbone au Canada est légèrement plus élevée qu'aux États-Unis. Ce classement relatif des prix du carbone est attribuable aux facteurs décrits précédemment.

La conformité aux cibles d'émissions du Protocole de Kyoto mène à une réduction des émissions mondiales de plus de 11 p. 100. Les régions non inscrites à l'annexe B voient leurs émissions polluantes augmenter. Cette « perte » se produit par divers mécanismes. Parmi les causes notables, mentionnons la chute du prix des produits liés aux combustibles fossiles sur les marchés mondiaux et l'augmentation de la production de biens à coefficient élevé d'énergie dans les pays de l'annexe B, à mesure que leur prix augmente. Dans la région « Reste du monde » (ROW), les émissions augmentent d'environ 2 p. 100.

Certaines caractéristiques distinguent ce modèle d'autres employés pour analyser la conformité du Canada au Protocole de Kyoto. Une brève analyse de la façon dont nos résultats diffèrent de ceux de trois études clés est présentée ci-après.

McKitrick Lorsque le modèle MRT-C est utilisé pour modéliser la stabilisation au niveau de 1990, la perte de bien-être est d'environ 0,5 p. 100, ce qui se rapproche du résultat obtenu par McKitrick (0,8 p. 100) si l'on ne recourt pas à une taxe sur les émissions de carbone pour réduire les taxes sur les facteurs. C'est probablement là l'expérience qui se rapproche le plus des hypothèses retenues dans notre étude.

MS-MRT Les résultats publiés dans Bernstein et coll. (1999) pour les « Autres pays de l'OCDE » sont assez semblables à ceux présentés dans notre étude. Au terme de discussions privées, nous sommes portés à penser que les pertes de bien-être et les taxes sur les émissions de carbone découlant de la version du modèle MS-MRT qui identifie le Canada sont légèrement plus élevées[24].

DRI L'étude DRI de Standard and Poor's montre des pertes de PIB pour le Canada comparables à celles présentées ici, mais cette étude ne s'intéresse qu'à la stabilisation au niveau de 1990. Il est difficile de comparer les résultats des divers modèles parce que le modèle DRI est un modèle macro-économique. Dans ce modèle, les profils d'investissement sont endogènes et déterminés par (entre autres choses) les flux de liquidités sectoriels. En conséquence, les secteurs qui se voient imposer les restrictions les plus lourdes connaissent souvent une expansion dans cette analyse, entraînant parfois une augmentation des pertes au niveau du PNB. Également, comme le soulignent Bernstein et coll. (1999), les estimations relatives au PNB et au bien-être ne concordent pas nécessairement.

Une analyse de sensibilité limitée de nos principaux résultats est présentée à l'appendice D.

Bien que les résultats concernant les effets de bien-être et les taxes sur les émissions de carbone soient sensibles à certains paramètres, un des paramètres clés à cet égard est le coût relatif de la technologie de production d'électricité sans émissions de carbone. Un bref résumé est présenté au tableau 4.2. Dans le scénario de base, on suppose que la technologie de rechange a un désavantage de 66 p. 100 sur le plan des coûts par rapport aux combustibles fossiles. Si l'on pouvait affirmer que ces technologies de rechange peuvent être mises en production à un coût se rapprochant sensiblement du coût projeté de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles, les coûts de conformité au Protocole de Kyoto seraient même inférieurs à 1 p. 100 du PNB.

Tableau 4.2
Sensibilité de la technologie de rechange

	Désavantage sur le plan des coûts (%)		
	33,3	66,6	86,0
Bien-être au Canada (%)	-1,01	-1,13	-1,13
Taxe sur les émissions de carbone ($US)	186	255	279
Part du secteur de rechange (%)	73,3	4,1	0

Parmi les autres paramètres clés, il y a la facilité de substitution entre les combustibles fossiles, la facilité de substitution des intrants primaires à l'énergie et les élasticités liées aux échanges commerciaux. Ces dernières déterminent le degré de compétitivité entre les produits nationaux et les produits étrangers.

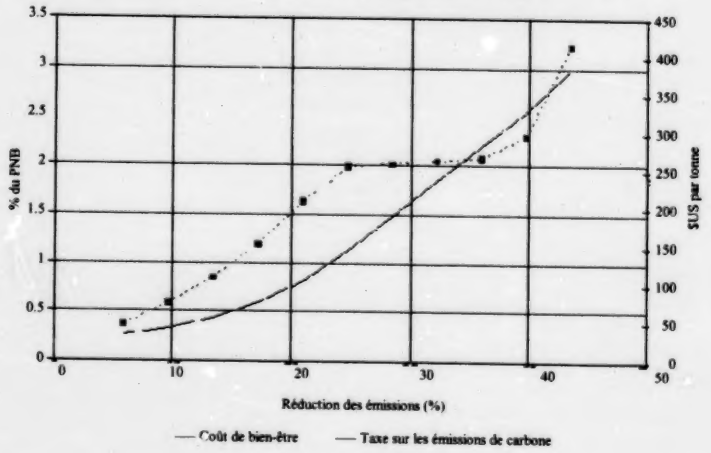
4.1.1 Ampleur de la réduction des émissions

Afin de donner une idée du rapport entre l'ampleur des réductions d'émissions polluantes et les coûts de bien-être et les taxes requises sur les émissions de carbone, nous avons appliqué le modèle de manière à évaluer différents niveaux de réduction des émissions au Canada. Une courbe liant les réductions d'émissions aux coûts de bien-être et aux taxes sur les émissions de carbone est présentée à la figure 4.1. Dans ces expériences, nous faisons l'hypothèse que tous les autres pays de l'annexe B doivent réduire leurs émissions polluantes conformément au scénario de référence.

La figure montre que le coût de bien-être augmente (à un taux croissant) à mesure qu'augmente la réduction en pourcentage par rapport aux niveaux d'émissions du scénario du maintien du statu quo. Le coût de bien-être atteint 2 p. 100 du PNB pour une réduction d'environ 35 p. 100 par rapport au statu quo. Rappelons que l'objectif du Canada dans le cadre du Protocole de Kyoto est de réduire ses émissions polluantes d'environ 25 p. 100.

La figure 4.1 montre également le rôle important joué par la technologie de rechange. Les prix du carbone atteignent 250 dollars pour une réduction des émissions polluantes d'environ 25 p. 100 et ils demeurent près de ce niveau jusqu'à ce que les réductions d'émissions atteignent 35 p. 100; par la suite, le prix du carbone se met à augmenter rapidement. Il semble que lorsque les prix du carbone ont atteint un niveau suffisamment élevé pour que la technologie de rechange entre en jeu, les réductions subséquentes sont obtenues en remplaçant progressivement la capacité de production d'électricité à partir de combustibles fossiles par la capacité de production basée sur la technologie de rechange. Lorsqu'on ne produit plus d'électricité à partir de combustibles fossiles, les réductions supplémentaires doivent survenir dans d'autres secteurs à un coût marginal progressivement croissant. À noter aussi que la section horizontale de la courbe du « prix » du carbone correspond à une section linéaire de la courbe du coût de bien-être.

Figure 4.1
Coût de bien-être et taxe sur les émissions de carbone



4.1.2 Effets sectoriels

Les effets sectoriels d'un régime « national » sont résumés au tableau 4.3[25]. Les produits énergétiques à forte teneur en carbone sont ceux dont la production baisse le plus par rapport au statu quo. La production des produits énergétiques et des produits ayant les plus hauts coefficients d'énergie recule d'environ 5 p. 100.

Le secteur des métaux non ferreux (NFM) connaît une légère expansion malgré un coefficient énergétique élevé. Cela s'explique par le fait que c'est l'un des secteurs où le Canada possède un avantage au niveau de l'intensité énergétique sur son principal concurrent tant au niveau des importations que sur les marchés d'exportation. Néanmoins, la production du secteur n'augmente que très peu (0,07 p. 100).

Le secteur des autres services privés (OSP) recule d'environ 0,6 p. 100. Ce secteur a un coefficient d'énergie légèrement plus élevé que le secteur des services gouvernementaux (OSG), qui croît à un taux à peu près identique. Les secteurs industriels ayant les plus faibles coefficients énergétiques croissent à un taux variant entre 2 et 3,5 p. 100 : il s'agit des industries du matériel électrique et électronique (ELE), des autres matériels de transport (OTN), du cuir (LEA) et du vêtement (WAP).

Il est difficile de donner une explication exacte de l'ampleur de tous les effets sectoriels à cause des liens complexes qui existent entre les différents secteurs d'un pays et au sein d'un secteur à l'échelle mondiale. Cependant, le profil des effets sectoriels est conforme à l'intuition : les secteurs énergivores devraient accuser le recul le plus prononcé en réponse aux efforts de conformité et en l'absence d'un régime de permis échangeables. De fait, pour une hausse de 1 p. 100 de la part de l'énergie dans le coût total, la réduction de la production sectorielle sera probablement supérieure à 1 p. 100[26].

Tableau 4.3
Résultats sectoriels pour le Canada, expérience NCP
(en pourcentage)

Secteur	Production	Emploi	Énergie	Exportations	Importations
OMN	-3,89	-1,89	-14,45	-7,34	0,44
CRP	-7,40	-3,87	-21,03	-9,46	-0,26
I-S	-4,15	0,44	-19,61	-9,36	3,28
AGR	-5,20	-3,70	-20,89	-7,90	1,03
NMM	-0,67	1,41	-15,23	-0,25	0,21
LAP	-1,05	0,36	-12,90	-3,71	0,89
NFM	0,07	1,64	-12,76	0,05	-0,60
PPP	-1,28	0,00	-13,52	-1,16	-1,80
T-T	-1,10	-0,16	-14,25	-1,98	-0,88
GDT	-1,98	-0,65	-22,47	0,00	0,00
WTR	-1,27	-0,41	-16,40	0,00	0,00
TEX	-0,69	0,50	-13,56	-1,59	0,25
OSP	-0,63	-0,12	-13,06	0,39	-2,17
LUM	-0,20	0,64	-12,41	-0,06	-1,41
FRS	-0,56	0,43	-15,45	-0,23	-1,51
FMP	-0,95	-0,32	-14,80	-1,68	-0,50
OMF	0,17	0,69	-13,46	2,30	-1,63
CNS	-0,31	0,28	-14,97	0,00	0,00
PFD	-0,23	0,35	-14,26	1,95	-2,38
OTN	1,53	1,93	-11,46	3,10	-0,47
OSG	0,82	1,00	-13,69	7,12	-2,29
OME	0,83	1,23	-12,23	1,08	-0,81
ELE	2,26	2,58	-11,29	3,16	-0,94
LEA	2,65	2,97	-10,28	5,19	-1,26
MVH	0,05	0,74	-13,20	0,37	0,06
WAP	3,55	3,75	-8,99	13,94	-4,76
COL	-6,95	-7,20	-20,23	7,31	-54,44
CRU	-3,57	-3,87	-16,01	-5,76	-23,71
GAS	-7,62	-8,69	-22,44	8,85	-51,90
P-C	-9,53	0,41	-17,31	8,97	-25,01
ELY	-20,51	-11,23	-33,89	-55,38	0,00
NFE	0,00	-0.22	s.o.	s.o.	s.o.
BKS	7,35	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.

Dans certains cas, les secteurs à coefficient élevé d'énergie pourraient ne pas subir un déclin ou pourraient reculer moins s'ils détiennent un avantage sur le plan des coûts d'énergie par rapport au secteur correspondant de nos principaux partenaires commerciaux. Dans bien des secteurs, les États-Unis sont notre principal partenaire commercial. Enfin, les secteurs à faible coefficient énergétique subiront deux grandes influences. Une partie du capital et de la main-d'œuvre libérés par le repli des secteurs à coefficient élevé d'énergie deviendra accessible aux autres secteurs. Simultanément, la demande totale pour l'ensemble des biens diminuera probablement en raison de la baisse des revenus au Canada et chez nos principaux partenaires commerciaux.

Ces résultats diffèrent de ceux du modèle DRI dans la mesure où les secteurs à coefficient élevé d'énergie ne prennent pas d'expansion. Contrairement au modèle DRI, les recettes tirées de la vente des permis, dans notre modèle, reviennent entièrement au consommateur représentatif de la région. Il n'y a donc pas d'incitation à accroître l'investissement ou à développer la capacité productive dans les secteurs à coefficient élevé d'énergie qui pourraient toucher des recettes importantes de la vente de permis.

Les exportations des biens ayant les coefficients d'énergie les plus élevés diminuent, notamment l'électricité dont les exportations chutent de plus de 50 p. 100. Les importations de tous les combustibles fossiles diminuent aussi de façon marquée. Les exportations de charbon et de gaz naturel sont par contre en hausse. Dans le cas du charbon, la hausse des exportations s'explique par la diminution de la demande intérieure. Dans le cas du gaz naturel, la hausse des exportations est attribuable à l'expansion de la demande de gaz aux États-Unis (où il remplacera vraisemblablement le charbon).

Dans le secteur de l'électricité, la production d'énergie à partir de combustibles fossiles diminue d'environ 20 p. 100. Pour environ un tiers (7 p. 100), cette baisse est compensée par la production d'électricité à l'aide de la technologie de « rechange ». Le reste (environ 13 p. 100) représente une diminution de la production totale d'électricité. Une bonne partie de cette diminution se traduit par une baisse des exportations.

4.1.3 Exemptions sectorielles

Dans cette section, nous limitons la portée nationale de la taxe sur les émissions de carbone ou du régime de permis de diverses façons décrites antérieurement dans notre analyse. Dans le contexte de la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les autorités pourraient vouloir centrer les efforts sur les secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés afin de réduire les coûts d'administration d'un régime de permis. Par ailleurs, les groupes d'intérêts du secteur de l'énergie pourraient faire valoir qu'il est injuste d'imposer aux secteurs à coefficient élevé d'énergie le fardeau de « taxes paralysantes ». Un certain nombre de considérations pourraient déboucher sur des politiques intérieures s'écartant de l'efficience à divers égards.

Quatre expériences sont ici envisagées :

NPA La demande finale au Canada est exemptée du régime de permis ou des taxes sur les émissions de carbone. Les mesures adoptées s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires d'énergie au pays. Tous les autres pays de l'annexe B appliquent des politiques intérieures efficientes.

NPB Les restrictions (permis ou taxes sur les émissions de carbone) s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires d'énergie dans les secteurs industriels à coefficient élevé d'énergie. Voici les secteurs visés :

I-S	Fer et acier
CRP	Produits chimiques, résines et plastiques
OMN	Autres minéraux
ELY	Électricité (d'origine fossile)
T-T	Commerce et transports
PPP	Pâtes, papier et édition
NFM	Métaux non ferreux
LAP	Bétail et autres produits

La demande finale (consommation et secteur gouvernemental) et toutes les autres utilisations intermédiaires sont exemptées au Canada. Tous les autres pays de l'annexe B appliquent des politiques intérieures efficientes.

NPC Les restrictions (permis ou taxes sur les émissions de carbone) s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires d'énergie dans les secteurs industriels ayant les coefficients d'énergie *les plus* élevés. Voici les secteurs visés :

I-S	Fer et acier
CRP	Produits chimiques, résines et plastiques
OMN	Autres minéraux
ELY	Électricité (d'origine fossile)

La demande finale (consommation et secteur gouvernemental) et toutes les autres utilisations intermédiaires sont exemptées au Canada. Tous les autres pays de l'annexe B appliquent des politiques intérieures efficientes.

NPD Les restrictions (permis ou taxes sur les émissions de carbone) s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires d'énergie dans les secteurs ayant un coefficient d'énergie *peu* élevé. Les secteurs visés sont ceux qui ne sont pas inclus dans le scénario NPB. La demande finale (consommation et secteur gouvernemental) n'est soumise à aucune restriction au Canada. Tous les autres pays de l'annexe B appliquent des politiques intérieures efficientes.

Les effets de ces divers scénarios sur le bien-être et la taxe sur les émissions de carbone sont présentés au tableau 4.4. Un certain nombre d'observations ressortent d'une comparaison de ces scénarios. Premièrement, les coûts de bien-être ont tendance à augmenter parallèlement au degré de concentration des efforts de réduction des émissions polluantes sur un sous-ensemble de secteurs. Les scénarios NPA, NPB et NPC peuvent être interprétés comme un continuum où les efforts de réduction sont progressivement concentrés là où les émissions sont les plus élevées. Au début (en exemptant la demande finale), cette approche n'est pas trop coûteuse, mais les coûts atteignent éventuellement de très hauts niveaux. Il est utile de mentionner que le coût relatif de ces trois scénarios restrictifs serait beaucoup plus élevé si l'on ne disposait pas d'une technologie de rechange. Selon les résultats obtenus, à mesure que l'on exempte des secteurs ayant un coefficient d'énergie peu élevé, le secteur de la production de rechange peut prendre de l'expansion, permettant des réductions supplémentaires à coût constant qui compensent les réductions qui ne sont plus imposées aux secteurs exemptés. Si la technologie de rechange n'est pas accessible, les coûts seront vraisemblablement beaucoup plus élevés.

Le scénario NPD suppose l'exemption des secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés. Dans ce cas, une part importante de l'effort de réduction est imposée aux secteurs qui n'ont pas un coefficient d'énergie très élevé. Le coût de bien-être est alors assez impressionnant. Même si peu d'observateurs envisageraient sérieusement que le prix du carbone atteigne plus 8 000 dollars la tonne, ces résultats illustrent les difficultés qui pourraient surgir si l'on tentait de cibler trop étroitement les efforts de réduction des émissions polluantes. Il est probable qu'avec de telles restrictions, on ne pourrait atteindre les cibles du Protocole de Kyoto.

Tableau 4.4
Régimes nationaux avec exemptions sectorielles

Expérience	Bien-être	Taxe sur le carbone
	(%)	($US 95/tonne C)
NCP	-1,1	255
NPA	-1,3	259
NPB	-1,7	271
NPC	-2,0	388
NPD	-7,5	8 192

Effets sectoriels : exemption de certains secteurs

Le profil des effets sectoriels change fondamentalement lorsque divers secteurs sont inclus ou exclus de la portée des mesures adoptées. Les effets sectoriels découlant de diverses politiques sont présentés au tableau 4.5. À mesure que les efforts de réduction des émissions sont ciblés sur les secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés (en progressant de NPA à NPC), nous constatons que la production des secteurs les plus énergivores diminue dans une proportion qui atteint éventuellement 16 p. 100. La production des secteurs industriels à coefficient d'énergie peu élevé (qui a tendance à augmenter dans le scénario de base NCP) augmente moins à mesure que les efforts de réduction sont ciblés sur les secteurs ayant les plus hauts coefficients d'énergie.

Il est déjà arrivé que l'on *exempte* des secteurs très polluants de certaines mesures de restriction lorsque celles-ci risquaient de les paralyser. Ce cas est illustré par l'expérience NPD, où tous les secteurs à coefficient élevé d'énergie sont exemptés des mesures adoptées. Ici, le coût de bien-être atteint plus de 7 p. 100, ce qui est sensiblement plus élevé que le coût associé à la politique opposée (soit NPC, où *seulement* les secteurs les plus énergivores sont assujettis aux mesures adoptées). En partie, cela est attribuable à la présence d'une technologie de rechange pour la production d'énergie. Si les secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés sont visés par les restrictions, l'adoption d'une technologie de production d'électricité sans émissions de carbone permet alors de réaliser un grande partie des réductions d'émissions à un coût d'environ 250 dollars US par tonne de carbone.

Si les secteurs à coefficient élevé d'énergie sont exemptés, comme dans l'expérience NPD, les réductions d'émissions que l'on pourrait réaliser à l'aide de la technologie alternative de production d'électricité demeurent inexploitées. Dans ce cas, les secteurs les plus énergivores devraient, selon les prédictions, connaître une expansion significative. Rappelons que dans cette expérience, nous supposons que tous nos partenaires commerciaux adoptent des régimes efficients, de sorte que le coût de leurs biens à coefficient élevé d'énergie augmente.

Enfin, le coût des permis augmente à mesure que les efforts de réduction des émissions sont ciblés de façon sélective. Dans le cas extrême où la totalité des réductions serait imposée aux secteurs qui n'ont pas un coefficient élevé d'énergie, les taxes sur les émissions de carbone atteignent des niveaux astronomiques. Cela est vrai en dépit du fait que le modèle prévoit l'entrée en scène d'une technologie de rechange pour la production d'électricité. La disponibilité de technologies de rechange ne réussira à limiter les taxes sur les émissions de carbone que si les utilisateurs sont incités à adopter ces technologies. Avec un régime d'exemptions inadéquat, certaines technologies disponibles ne seront pas utilisées.

Tableau 4.5
Effets de réaffectation sectorielle au Canada

	Niveau de la production sectorielle (variation en pourcentage)				
Secteur	**NCP**	**NPA**	**NPB**	**NPC**	**NPD**
OMN	-3,89	-4,75	-6,69	-8,09	14,97
CRP	-7,40	-8,35	-10,00	-16,08	12,09
I-S	-4,15	-4,46	-5,37	-11,93	15,37
AGR	-5,20	-5,82	0,43	0,02	-74,27
NMM	-0,67	-1,24	5,15	4,38	-56,34
LAP	-1,05	-1,60	-1,83	-0,32	-14,59
NFM	0,07	-1,08	-4,60	1,03	47,24
PPP	-1,28	-1,70	-2,91	0,31	11,91
T-T	-1,10	-1,36	-1,80	-0,77	0,00
GDT	-1,98	-2,37	-1,44	-2,04	-16,67
WTR	-1,27	-1,68	-1,59	-1,73	-10,36
TEX	-0,69	-1,08	0,78	0,04	-29,97
OSP	-0,63	-0,90	-0,85	-1,01	-7,98
LUM	-0,20	-0,05	2,21	2,49	-29,51
FRS	-0,56	-0,61	0,90	1,69	-23,40
FMP	-0,95	-1,13	-0,30	-1,67	-14,49
OMF	0,17	0,09	0,85	0,10	-13,71
CNS	-0,31	-0,32	-0,19	-0,22	-3,02
PFD	-0,23	-0,85	-0,85	-0,58	-15,59
OTN	1,53	1,43	1,37	0,16	1,36
OSG	0,82	0,54	0,20	-0,17	-3,56
OME	0,83	0,77	0,74	0,08	1,60
ELE	2,26	1,86	1,18	0,86	6,64
LEA	2,65	2,75	1,91	1,54	12,28
MVH	0,05	-0,40	0,73	-0,96	-22,60
WAP	3,55	3,33	2,83	2,53	4,03
COL	-6,95	-8,55	-6,67	-7,40	-62,08
CRU	-3,57	-3,74	-3,20	-3,11	-13,98
GAS	-7,62	-6,01	-4,98	-4,61	-7,04
P-C	-9,53	-7,91	-2,08	0,00	-51,49
ELY	-20,51	-53,17	-83,56	-100,00	7,58
NFE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BKS	6,75	36,93	66,93	82,85	0,00

Une dernière observation : le fait d'exempter les utilisations « finales » de l'énergie (cas A) des restrictions semble avoir très peu d'effet sur le bien-être ou sur le prix du carbone. L'aspect déterminant de la demande finale est qu'elle offre une possibilité plus limitée de substitution entre l'énergie et les autres biens que dans le cas des utilisations intermédiaires. En conséquence, dans le scénario NCP, les réductions d'émissions réalisées au niveau de la demande finale ne sont pas très importantes.

Dans le cas où la demande finale est exemptée (NPA), le profil des effets sectoriels ressemble à une version légèrement amplifiée des effets de l'adoption d'un régime efficient (NCP). Les secteurs qui subissaient le recul le plus marqué ont tendance à reculer davantage, tandis que les secteurs qui profitaient d'une expansion voient celle-ci s'accentuer.

L'évolution du profil des effets sectoriels des divers régimes d'exemptions sectorielles est assez étroitement liée à la nature des exemptions. Lorsque les restrictions sur les émissions de carbone s'appliquent uniquement aux secteurs les plus énergivores (NPB), les secteurs visés subissent un déclin beaucoup plus prononcé que dans le scénario efficient ou celui où la demande finale est exemptée. Sauf quelques rares exceptions, les autres secteurs enregistrent un recul moins marqué ou une expansion plus grande que dans l'expérience (NCP), où il n'y a aucune exemption.

Lorsque tous les efforts de réduction des émissions sont concentrés sur les secteurs ayant les plus hauts coefficients d'énergie (NPC), ces derniers subissent un recul d'au moins 8 p. 100. Les secteurs exemptés ont tendance à se contracter moins ou à croître davantage, dans certains cas de façon spectaculaire. Le changement le plus marqué est observé dans le secteur de la production d'électricité à partir de combustibles fossiles, qui disparaît complètement. La totalité de l'électricité est produite par l'énergie hydraulique ou au moyen de la technologie de rechange. Celle-ci remplace plus de 80 p. 100 de la production fondée sur la consommation de combustibles fossiles.

Dans le dernier cas examiné, les exemptions sectorielles sont à l'opposé des cas précédents. Les secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés sont tous exemptés, avec des résultats prévisibles. La plupart des secteurs énergivores connaissent maintenant une expansion, tandis que de nombreux secteurs ayant un faible coefficient énergétique se contractent. Bien entendu, cela vient compliquer la tâche de réduire les émissions polluantes.

4.1.4 Régimes nationaux : résumé

Dans cette section, nous examinons l'incidence d'une taxe nationale sur les émissions de carbone ou d'un régime national de permis qui serait adopté simultanément par toutes les régions de l'annexe B. Voici les principales observations qui s'en dégagent :

- Les coûts de bien-être projetés sont peu élevés lorsqu'une stratégie efficiente (taxe sur les émissions de carbone à large assiette ou régime de permis) est adoptée.
- Les mouvements sectoriels attribuables à une taxe efficiente sur les émissions de carbone englobent un déclin plus marqué des secteurs à coefficient élevé d'énergie et une légère expansion des secteurs les moins énergivores. Dans certains cas, les secteurs à coefficient élevé d'énergie prennent de l'expansion lorsque leur intensité énergétique est inférieure à celle du secteur correspondant sur notre principal marché d'importation ou d'exportation.
- Le fait de restreindre l'application de ces mesures à un sous-ensemble de secteurs peut hausser les coûts de conformité, dans certains cas de façon importante. Du même coup, le fait de cibler les efforts de réduction des émissions de carbone sur les utilisations intermédiaires (plutôt que de les imposer aussi à la demande finale) semble avoir des effets relativement modestes.
- Dans le cas où les secteurs à coefficient élevé d'énergie sont exemptés des taxes sur les émissions de carbone ou de l'obligation d'obtenir des permis, ces secteurs connaissent une expansion, qui est attribuable à divers facteurs :
    - Le coût d'utilisation des combustibles diminue en raison des taxes imposées aux secteurs non exemptés.

- Puisque seul le Canada participe à cette aventure, les exportations canadiennes de biens à coefficient élevé d'énergie (principalement vers les marchés des régions de l'annexe B) augmentent tandis que les importations diminuent.

Selon nos estimations, les coûts de bien-être sont très élevés, tandis que les taxes intérieures sur les émissions de carbone défient l'imagination. Ces résultats soulignent probablement le fait que les cibles du Protocole de Kyoto ne pourraient être atteintes en présence de telles restrictions.

- Bien que les coûts de bien-être augmentent de façon moins spectaculaire lorsque les politiques relatives aux émissions de carbone s'appliquent uniquement aux secteurs les plus énergivores, le résultat dépend de la disponibilité d'une technologie de rechange pour la production d'électricité sans émissions de carbone. En l'absence d'une telle technologie, les coûts engendrés par les efforts visant à atteindre les cibles d'émissions du Protocole de Kyoto seront vraisemblablement très élevés.

4.2 Régimes mondiaux de permis

Le passage à un système mondial de droits d'émission échangeables réduit sensiblement la « taxe sur les émissions de carbone » que doivent envisager les Canadiens, et les coûts de bien-être tombent à moins de la moitié de ceux d'un régime national[28]. En présence d'un régime d'échanges mondiaux, les mêmes réductions globales d'émissions polluantes peuvent être réalisées, mais une plus grande part de ces réductions ont lieu dans des pays ne figurant pas à l'annexe B, où les coûts d'assainissement sont initialement moins élevés.

Pour le Canada, la perte de bien-être liée à la conformité aux cibles du Protocole de Kyoto diminue, passant d'environ 1,1 p. 100 à environ 0,5 p. 100 (voir le tableau 4.6). Le Canada achète des permis d'émissions polluantes auprès de pays qui peuvent réduire leurs émissions à moindre coût qu'au Canada. Dans ce cas, les émissions canadiennes diminuent de seulement 7,5 p. 100, au lieu de 25 p. 100 lorsque toutes les réductions imposées au Canada doivent survenir au pays même. La perte de bien-être pour les États-Unis tombe aussi à environ la moitié du coût correspondant à un régime sans échange de permis. Le gain de bien-être du Japon est très modeste en pourcentage. Il en est ainsi parce que le Japon est un gros importateur net d'énergie et, même s'il est très coûteux pour ce pays de réduire ses émissions internes, il paie beaucoup moins pour ses importations de combustibles fossiles. À noter que, dans un régime mondial de permis échangeables, le Japon et l'Europe ne réalisent que très peu de réductions d'émissions polluantes sur leur territoire. Dans les deux cas, les émissions diminuent d'environ 3 p. 100 par rapport au scénario du maintien du statu quo. Les pertes de bien-être des exportateurs de pétrole (le Mexique et les pays de l'OPEP) passent de 10 milliards de dollars à moins de 4 milliards de dollars dans le cadre d'un régime mondial de droits d'émission échangeables. Pour ces pays, les pertes au titre des termes de l'échange figurent au premier plan des effets de bien-être et ces pertes sont sensiblement réduites dans un scénario où les permis d'émissions peuvent s'échanger sur le marché international.

L'autre aspect intéressant est le volume et la nature des échanges éventuels. Les résultats sur ce point sont résumés au tableau 4.7. Toutes les régions de l'OCDE achètent des permis d'émissions polluantes. Le Canada achète des permis pour environ 35 millions de tonnes de carbone. Le volume de permis achetés par le Canada et les États-Unis est très semblable à celui qui ressort des estimations du modèle de seconde génération (SGM) (MacCracken et coll., 1999). La Chine et l'ancienne Union soviétique (FSU) fournissent l'une et l'autre un grand nombre de permis. Les échanges sont exprimés en mégatonnes de carbone (MT), les prix sont exprimés en dollars US par tonne, tandis que la valeur correspond simplement au produit des deux premiers paramètres, exprimé en milliards de dollars US.

Tableau 4.6
Sommaire des résultats pour le scénario GCP

Pays / région	Coût de bien-être (milliards de $)	Coût de bien-être (%)	Émissions de carbone (%)	Prix du carbone ($)
CAN	-3,05	-0,49	-7,51	45,79
USA	-25,00	-0,29	-10,29	45,79
JPN	-2,14	-0,05	-3,20	45,79
EUR	-13,90	-0,13	-2,75	45,79
OOE	-2,84	-0,64	-12,67	45,79
CHN	4,09	0,26	-15,95	45,79
FSU	9,86	2,15	-17,06	45,79
CEA	-1,37	-0,38	-11,50	45,79
ASI	2,32	0,15	-14,87	45,79
MPC	-3,92	-0,27	-10,33	45,79
ROW	0,41	0,01	-12,87	45,79
WLD	-35,55	-0,11	-11,25	45,79

Tableau 4.7
Sommaire des résultats de la politique relative aux émissions de carbone pour le scénario GCP

	Échanges	Valeur	Prix
Pays / région	MT	milliards de $	$/TC
CAN	-35,15	-1,61	45,79
USA	-345,89	-15,84	45,79
JPN	-96,09	-4,40	45,79
EUR	-288,73	-13,22	45,79
OOE	-15,80	-0,72	45,79
CHN	251,16	11,50	45,79
FSU	261,59	11,98	45,79
CEA	-16,19	-0,74	45,79
ASI	113,70	5,21	45,79
MPC	75,08	3,44	45,79
ROW	96,32	4,41	45,79

Plusieurs régions qui vendent des permis d'émissions polluantes (la Chine, l'ancienne Union soviétique et l'Asie) bénéficient d'un gain de bien-être dans un régime mondial de permis échangeables. Dans le cas de l'ancienne Union soviétique, le gain est d'environ 2 p. 100 du PNB. Cela s'explique notamment par le fait que le niveau autorisé des émissions pour l'ancienne Union soviétique devrait dépasser le niveau projeté des émissions en 2010 selon le scénario du maintien du statu quo. En conséquence, l'ancienne Union soviétique peut vendre un volume important de permis sans réduction de ses émissions polluantes. Cette attribution favorable d'émissions polluantes est souvent décrite comme du « vent ».

4.2.1 Effets sectoriels

Avec un régime mondial de permis échangeables pour les émissions de carbone, les secteurs canadiens à coefficient élevé d'énergie ont tendance à se contracter, mais la contraction est habituellement beaucoup plus limitée que dans le cas précédent, où toutes les réductions étaient réalisées au Canada même. Comparativement au cas où il n'y a pas de régime international d'échange de permis, l'intensité énergétique d'un secteur a une corrélation beaucoup moins étroite avec la performance du secteur[29]. En l'absence d'un régime mondial de permis échangeables, chaque hausse de 1 p. 100 de la part du coût représentée par l'énergie est associée à une baisse moyenne de plus de 1,5 p. 100 de la production du secteur. Avec un régime de droits d'émission échangeables, l'incidence d'une hausse de 1 p. 100 de la part du coût représentée par l'énergie tombe à moins d'un tiers de 1 p. 100. Les résultats sectoriels pour le Canada dans le scénario GCP sont présentés au tableau 4.8.

Ce changement dans le profil des effets sectoriels est lié aux échanges de droits d'émission. Puisque les restrictions imposées sur les émissions de carbone sont assorties d'un régime mondial d'échange de droits d'émission, les pays peuvent réduire leurs émissions en opérant un déplacement des secteurs à fort coefficient de carbone vers des secteurs à coefficient de carbone moins élevé et en substituant d'autres facteurs à l'énergie dans toutes les activités de production.

Dans l'optique du Canada, les producteurs de biens à coefficient élevé d'énergie dans les régions ne figurant pas à l'annexe B voient leur position concurrentielle s'améliorer lorsque seules les régions de l'annexe B sont obligées de réduire leurs émissions, comme dans l'expérience précédente (NCP). Dans ce cas, le coût des biens canadiens à coefficient élevé de carbone augmente, tandis que le prix « mondial » des combustibles fossiles diminue. Cela se traduit par une réduction du marché d'exportation pour les biens canadiens et à une concurrence accrue sur le marché des importations, en particulier pour les biens à coefficient élevé de carbone. Dans le cadre d'un régime mondial d'échange de permis, ces deux effets sont atténués parce que les producteurs des pays ne figurant pas à l'annexe B font aussi face à des prix plus élevés pour leurs intrants énergétiques. En outre, même si les biens canadiens à coefficient élevé d'énergie ont tendance à avoir une plus grande intensité énergétique que les biens américains correspondants, leur intensité énergétique est souvent moindre que les biens produits dans les régions non inscrites à l'annexe B, ce qui laisse entrevoir certaines possibilités d'expansion des exportations et de réduction des importations par rapport au scénario de la mise en œuvre « nationale ».

Il est important de noter que le changement observé dans la nature des effets sectoriels ne découle pas du fait que les recettes tirées de la vente des permis sont affectées à l'investissement dans les secteurs qui reçoivent des permis, comme c'est le cas dans l'étude DRI (1997). Ici, les recettes tirées de la vente des permis sont versées globalement au consommateur, de sorte qu'il n'y a aucune incitation à accroître les dépenses d'investissement dans les secteurs qui reçoivent un généreux contingent de permis. Même si ce traitement des recettes semble étrange, il pourrait concorder avec le principe de l'« antériorité », en vertu duquel les entreprises d'un secteur reçoivent un certain contingent de permis, qu'elles peuvent utiliser ou vendre. Dans ce cas, on peut imaginer que les actionnaires de l'entreprise sont les véritables bénéficiaires des permis. Les gestionnaires de l'entreprise, agissant pour le compte des actionnaires, devraient réduire les émissions polluantes jusqu'à ce que le coût marginal de cette activité pour l'entreprise soit égal au prix des permis sur le marché. Au-delà de ce seuil, les gestionnaires devraient vendre les permis qu'ils détiennent encore ou acheter des permis supplémentaires pour couvrir leurs émissions excédentaires par rapport aux permis qu'ils ont reçus. Bien entendu, la valeur des permis accordés hausse le revenu du consommateur au cours de cette période.

Tableau 4.8
Résultats sectoriels pour le scénario GCP au Canada
(en pourcentage)

Secteur	Production	Emploi	Énergie	Exportations	Importations
OMN	0,73	1,21	-1,78	-0,30	1,98
CRP	-0,91	-0,30	-4,92	-0,81	-0,14
I-S	0,65	1,54	-4,14	1,36	0,75
AGR	-1,07	-0,90	-5,57	-1,62	-0,05
NMM	0,87	1,19	-3,02	2,95	-1,12
LAP	-0,26	-0,11	-3,18	-0,79	-0,18
NFM	2,99	3,19	-0,33	3,61	0,71
PPP	-0,10	0,07	-3,11	0,11	-0,51
T-T	-0,31	-0,20	-3,53	0,20	-0,41
GDT	-0,35	-0,24	-6,58	0,00	0,00
WTR	-0,31	-0,25	-4,32	0,00	0,00
TEX	0,07	0,23	-3,10	0,55	-0,18
OSP	-0,21	-0,19	-3,18	0,89	-0,69
LUM	0,09	0,21	-2,81	0,25	-0,32
FRS	-0,06	0,07	-3,80	-0,78	0,02
FMP	0,60	0,67	-2,86	1,78	-0,43
OMF	0,92	0,97	-2,40	2,31	-0,57
CNS	-0,11	-0,04	-3,69	0,00	0,00
PFD	-0,10	-0,08	-3,59	0,90	-0,83
OTN	1,15	1,16	-1,94	2,38	0,04
OSG	-0,10	-0,15	-3,65	1,86	-0,86
OME	1,22	1,23	-1,92	1,66	-0,10
ELE	0,99	0,97	-2,23	1,46	-0,19
LEA	-0,05	-0,04	-3,01	0,29	-0,37
MVH	0,06	0,11	-3,17	0,14	-0,05
WAP	0,26	0,25	-2,56	1,90	-1,06
COL	-6,15	-7,08	-13,43	-4,74	-22,88
CRU	-1,35	-1,56	-4,81	-2,03	-3,83
GAS	-2,74	-3,29	-7,59	1,97	-17,58
P-C	-1,81	0,31	-4,25	3,76	-7,07
ELY	-2,67	-0,40	-8,61	-9,58	0,00
NFE	0,00	-0.17	s.o.	s.o.	s.o.
BKS	0,00	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.

4.2.2 Exemptions sectorielles

Dans cette section, nous envisageons des exemptions semblables, mais combinées à un régime international non restrictif de permis échangeables pour les émissions de carbone. Dans les expériences qui suivent, nous faisons l'hypothèse que les exemptions sectorielles s'appliquent à toutes les régions qui *achètent* des permis. L'une de ces expériences permet d'observer des écarts par rapport à la situation efficiente dans les régions vendeuses.

Cinq cas sont étudiés :

GPA Les restrictions (permis ou taxes sur les émissions de carbone) s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires de l'énergie et non à la demande finale (consommation et secteur gouvernemental) dans toutes les régions achetant des permis.

GPB Les restrictions (permis ou taxes sur les émissions de carbone) s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires de l'énergie dans les secteurs à coefficient élevé d'énergie. Voici les secteurs visés :

I-S	Fer et acier
CRP	Produits chimiques, résines et plastiques
OMN	Autres minéraux
ELY	Électricité (d'origine fossile)
T-T	Commerce et transports
PPP	Pâtes, papier et édition
NFM	Métaux non ferreux
LAP	Bétail et autres produits

La demande finale (consommation et secteur gouvernemental) n'est assujettie à aucune restriction. Tous les pays de l'annexe B se conforment en adoptant le même genre de régime intérieur.

GPC Les restrictions (permis ou taxes sur les émissions de carbone) s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires de l'énergie dans les secteurs ayant le coefficient énergétique *le plus* élevé. Voici les secteurs visés :

I-S	Fer et acier
CRP	Produits chimiques, résines et plastiques
OMN	Autres minéraux
ELY	Électricité (d'origine fossile)

La demande finale (consommation et secteur gouvernemental) n'est assujettie à aucune restriction. Cela s'applique à tous les pays de l'annexe B qui achètent des permis.

GPD Les restrictions (permis ou taxes sur les émissions de carbone) s'appliquent uniquement aux utilisations intermédiaires de l'énergie dans les secteurs à *faible* coefficient énergétique. Les secteurs visés sont ceux qui ne sont pas inclus dans le cas GPB.
La demande finale (consommation et secteur gouvernemental) n'est assujettie à aucune restriction. Ce modèle est adopté par tous les pays de l'annexe B.

GPE Les régions acheteuses n'exemptent aucun de leurs secteurs de l'obligation de se conformer à la politique, mais toutes les régions vendeuses exemptent la demande finale. En outre, pour tenir compte des problèmes liés à la vérification au cas par cas des projets et aux autres modalités pratiques de la mise en œuvre, les régions vendeuses « subventionnent » les achats de permis d'émissions de carbone pour les utilisations intermédiaires à la hauteur de 50 p. 100. Cela a pour effet de rendre non attrayantes certaines possibilités efficientes de réduction des émissions[30].

Le résultat le plus notable est que les restrictions sectorielles semblent avoir des effets de bien-être très limités en présence d'un régime mondial d'échange de permis sans restriction. Les effets de bien-être d'une politique de conformité assortie d'exemptions sont, dans la plupart des cas, très semblables à ceux observés dans le scénario sans exemptions. Les effets de bien-être les plus importants s'observent dans les régions qui vendent des permis, lesquelles profitent de la hausse des prix des permis. Les résultats pour le Canada en vertu des divers scénarios sont présentés au tableau 4.9.

Tableau 4.9
Vue d'ensemble : politiques intérieures restrictives et échange mondial de permis

	GCP	GPA	GPB	GPC	GPD	GPE
Bien-être au Canada (%)	-0,49	-0,46	-0,50	-0,52	-0,60	-0,67
Prix du carbone ($)	45,79	52,51	55,05	56,70	57,57	69,75
Émissions canadiennes (%)	-7,37	-6,35	-5,53	-4,46	-1,40	-10,49

Il est aussi utile de noter que, du fait que les taxes sur les émissions de carbone sont si peu élevées, elles ne déclenchent un recours à la technologie de rechange pour la production d'électricité dans aucun des scénarios mondiaux examinés. Contrairement à de nombreuses expériences nationales, la technologie de rechange s'avère trop coûteuse à utiliser.

L'expérience GPE envisage une dérogation par rapport à l'efficience dans les régions qui vendent des permis. L'idée derrière cette dérogation est que le processus d'identification de « projets » appropriés pour les échanges de droits d'émission sera vraisemblablement inefficient et que certains des projets approuvés seront probablement moins efficients que d'autres qui n'ont pas été approuvés. La distorsion de 50 p. 100 introduite dans le modèle pourrait être considérée comme modeste si les échanges dans le cadre du Mécanisme de développement propre se font projet par projet, comme certains le prévoient. Ce problème a été mis en relief dans Hahn et Stavins (1999). Quoi qu'il en soit, l'incidence sur le bien-être, les prix du carbone et les effets sectoriels sont tous relativement modestes. À noter que les réductions des émissions au Canada sont plus importantes dans le cas GPE en raison du coût plus élevé des permis.

Effets sectoriels : exemption de certains secteurs

Les effets de réaffectation sectoriels au Canada sont présentés au tableau 4.10. Si les exemptions sont limitées aux utilisateurs finals d'énergie, comme dans le cas GPA, les effets sectoriels sont presque identiques à ceux du régime efficient (GCP). Lorsque tous les secteurs à faible coefficient énergétique et la demande finale sont exemptés (cas GPB), les réductions d'émissions sont centrées sur les secteurs industriels les plus énergivores. Dans ce cas, les secteurs visés subissent un déclin plus prononcé ou connaissent une croissance moins rapide que dans le régime efficient (GCP). Chaque secteur exempté (sauf le charbon) enregistre un déclin moins prononcé ou une augmentation plus importante de sa production. Dans le secteur des aliments transformés, le léger recul de la production dans le cas GCP

devient une faible expansion dans le cas GPB. Ces changements sont directement liés à la portée différente des politiques adoptées.

Dans les expériences GPA à GPC, le secteur de l'électricité subit un déclin plus prononcé qu'en l'absence d'exemptions sectorielles. Il semble qu'à mesure que les réductions d'émissions sont concentrées dans les secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés, les baisses de production deviennent plus importantes dans le secteur de l'électricité mais moins importantes dans les secteurs des combustibles primaires (charbon, gaz naturel et pétrole).

Tableau 4.10
Effets de réaffectation sectoriels au Canada

	Niveau de la production sectorielle (changement en pourcentage)					
Secteur	**GCP**	**GPA**	**GPB**	**GPC**	**GPD**	**GPE**
OMN	0,73	0,80	0,72	0,87	2,50	0,35
CRP	-0,91	-0,99	-1,58	-1,73	1,79	-1,89
I-S	0,65	0,64	0,34	0,21	3,70	-0,28
AGR	-1,07	-1,10	0,17	0,12	-1,63	-1,31
NMM	0,87	0,86	1,60	1,52	0,99	0,61
LAP	-0,26	-0,27	-0,24	0,03	-0,27	-0,22
NFM	2,99	3,11	2,93	4,12	5,24	2,99
PPP	-0,10	-0,13	-0,33	0,13	0,25	-0,14
T-T	-0,31	-0,32	-0,38	-0,19	-0,26	-0,41
GDT	-0,35	-0,35	-0,11	-0,12	-0,30	-0,59
WTR	-0,31	-0,31	-0,24	-0,21	-0,30	-0,46
TEX	0,07	0,06	0,52	0,39	-0,10	0,08
OSP	-0,21	-0,20	-0,13	-0,16	-0,37	-0,25
LUM	0,09	0,07	0,49	0,43	-0,33	0,16
FRS	-0,06	-0,09	0,20	0,24	-0,36	-0,05
FMP	0,60	0,59	0,89	0,79	0,91	0,47
OMF	0,92	0,95	1,33	1,24	1,06	0,90
CNS	-0,11	-0,11	-0,09	-0,09	-0,12	-0,15
PFD	-0,10	-0,11	-0,02	0,04	-0,37	-0,05
OTN	1,15	1,13	1,52	1,16	0,28	1,65
OSG	-0,10	-0,05	0,00	-0,08	-0,48	-0,03
OME	1,22	1,24	1,60	1,46	1,02	1,50
ELE	0,99	1,02	1,23	1,10	0,36	1,58
LEA	-0,05	-0,03	0,01	-0,12	-0,46	0,80
MVH	0,06	0,04	0,32	0,21	0,36	-0,04
WAP	0,26	0,29	0,41	0,23	-0,47	0,87
COL	-6,15	-6,37	-7,69	-7,65	-2,33	-6,87
CRU	-1,35	-0,88	-0,24	0,03	-0,87	-1,75
GAS	-2,74	-1,95	-1,13	-0,72	-0,97	-3,79
P-C	-1,81	-0,79	-0,42	0,60	-0,21	-2,72
ELY	-2,67	-4,02	-5,22	-5,81	0,91	-4,09
NFE	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BKS	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Il est remarquable que les exemptions ont un impact beaucoup moins prononcé sur les rajustements sectoriels qui surviennent dans le contexte d'un régime mondial d'échange de permis que dans les scénarios axés sur un régime national de permis. Dans le cas GPD, les restrictions qui s'appliquent aux émissions de carbone ne visent que les utilisations intermédiaires dans les secteurs à faible intensité énergétique. Dans ce cas, tous les secteurs à forte intensité énergétique, sauf l'agriculture et l'élevage, voient leur production augmenter! Ces effets subissent l'influence du régime de droits d'émission échangeables puisque ces secteurs sont assujettis aux restrictions sur les émissions de carbone dans les régions non inscrites à l'annexe B.

Bien que les exemptions accordées à certains secteurs modifient le profil des effets sectoriels, ceux-ci sont tout de même moins prononcés dans le contexte d'un régime de droits d'émission échangeables (cas GPA-GPD) qu'en l'absence d'un tel régime (cas NPA-NPD). Le prix mondial du carbone a tendance à augmenter à mesure que des restrictions sont imposées. Les exemptions engendrent une hausse supplémentaire de la demande de permis et une augmentation correspondante du prix du carbone. Dans les cas GPA-GPD, les réductions d'émissions sont plus limitées dans les pays de l'annexe B et plus importantes dans les autres régions, en comparaison du cas GCP, où il y a échange sans restriction de permis d'émissions polluantes.

Un élément clé des expériences GPA-GPD est qu'elles reposent sur l'hypothèse que toutes les régions de l'annexe B appliquent les mêmes politiques. Cela réduit la probabilité que des distorsions viennent engendrer des mouvements importants dans les échanges au sein des régions de l'annexe B et des déplacements sectoriels concomitants.

4.2.3 Régimes mondiaux : résumé

Dans cette section, nous avons examiné le coût et les conséquences de l'observation des engagements pris à Kyoto, en supposant qu'un régime international d'échange de permis d'émissions serait adopté. Un certain nombre d'hypothèses relatives à la stratégie de mise en œuvre au Canada (et dans les pays de l'annexe B) ont été explorées. Voici les principales conclusions qui en ressortent :

- Un régime international d'échange de permis abaisse de façon spectaculaire le coût de bien-être découlant de la conformité au Protocole de Kyoto, ainsi que le coût des permis ou les taxes sur les émissions de carbone qui y sont associés.

- Le profil et la sévérité des effets sectoriels au Canada diffèrent sensiblement de ceux observés en l'absence d'un régime d'échange de permis, alors que les secteurs à coefficient élevé d'énergie dans les pays non inscrits à l'annexe B réduisent leur production (plutôt que de l'augmenter lorsque seuls les pays de l'annexe B sont tenus de se conformer aux engagements pris).

- Les exemptions sectorielles pour les utilisations intermédiaires dans les régions acheteuses ont une incidence beaucoup moins grande, en termes absolus, sur le coût de la conformité en présence d'un régime mondial d'échange de permis d'émissions polluantes. Dans une certaine mesure, cela pourrait vouloir dire que l'un des avantages d'un régime d'échange de permis est d'atténuer le coût des erreurs de politique sur le plan interne[31].

- De légères divergences de politique par rapport au modèle efficient dans les régions vendant des permis engendrent des répercussions relativement limitées sur le plan du bien-être. Les régions qui vendent des permis profitent de l'augmentation des prix des permis.

- Lorsque des exemptions sectorielles sont accordées sans échange de droits d'émission, une part plus grande des réductions d'émissions polluantes est alors imposée aux secteurs qui sont tenus de se conformer. Cela hausse le coût marginal des réductions d'émissions (et les taxes sur les émissions de carbone). Par contre, avec un régime mondial d'échange de permis d'émissions, l'un des principaux effets observés est une baisse des réductions d'émissions réalisées au pays. Dans ce cas, il y a augmentation des achats de permis d'émissions.

5. SOMMAIRE ET CONCLUSION

Cette étude a porté principalement sur les effets sectoriels de la conformité aux engagements pris dans le cadre du Protocole de Kyoto et sur les répercussions de diverses formes d'exemptions sectorielles.

Si l'effort de conformité du Canada doit se dérouler en l'absence d'un régime international d'échange de droits d'émission, il est probable que les coûts d'observation ne seront modérés que si la stratégie de mise en œuvre nationale respecte l'efficience – autrement dit, un régime ne comportant que des exemptions sectorielles limitées. Si les exemptions ont une portée trop vaste ou sont mal conçues, le coût de bien-être de la conformité aux engagements de Kyoto sera probablement beaucoup plus élevé.

Un régime mondial d'échange de droits d'émission atténue le coût de bien-être projeté si la stratégie de mise en œuvre est efficiente. Cependant, si la mise en œuvre au niveau national n'est *pas* efficiente, un régime mondial d'échange de droits d'émission pourrait atténuer les conséquences, *sur le plan des coûts*, de l'adoption de stratégies de mise en œuvre nationales non efficientes dans les régions de l'annexe B. Le contraste entre les conséquences de diverses « exemptions » nationales, avec et sans régime d'échange des permis, est assez frappant. L'inconvénient des exemptions sectorielles dans le contexte d'un régime international d'échange de droits d'émission n'est pas tant le coût accru que la diminution significative des réductions d'émissions réalisées au Canada même.

Pour ce qui est des effets sectoriels, l'une des principales conclusions qui se dégagent de l'étude est que si les secteurs ayant les coefficients d'énergie les plus élevés au Canada ont tendance à se contracter avec l'adoption de politiques nationales efficientes (avec ou sans régime international d'échange de droits d'émission), les répercussions sont fortement atténuées (et, dans certains cas, renversées) en présence d'un régime mondial d'échange de permis d'émissions polluantes. Lorsque les réductions d'émissions se déroulent en l'absence d'un régime de droits d'émission échangeables, des baisses marquées du niveau d'activité et des émissions sont nécessaires dans les secteurs canadiens à coefficient élevé d'énergie afin de réduire les émissions au Canada. Avec un régime mondial de droits d'émission échangeables, les baisses les plus importantes de la production et des émissions surviennent dans les secteurs à coefficient élevé d'énergie à l'étranger, ce qui entraîne une baisse significative de la production de ces biens sur le marché international. En présence d'un régime mondial d'échange de droits d'émission, l'effet d'une hausse du coût de l'énergie est souvent atténué en bonne partie par une diminution de l'offre de biens étrangers à coefficient élevé d'énergie.

L'analyse présentée dans cette étude fait ressortir deux grandes pistes de recherche pour l'avenir :

Exemptions sectorielles asymétriques – Lorsque des exemptions sectorielles ont été envisagées dans le cadre d'un régime national de permis, nous avons supposé que seul le Canada accorderait de telles exemptions. Les cas où l'on envisage des exemptions en présence d'un régime mondial de permis d'émission échangeables suppose un profil symétrique de divergence par rapport à l'efficience dans toutes les régions de l'annexe B. En d'autres termes, toutes les régions de l'annexe B avaient le même profil d'exemption. Il serait utile d'analyser des cas spécifiques d'interaction en supposant des profils d'exemption différents dans les régions acheteuses.

Dérogations par rapport à l'efficience – Il serait aussi utile d'étudier des cas où il y a dérogation par rapport à l'efficience *tant* dans les régions acheteuses que dans les régions vendeuses. Il semble peu probable que les mesures de mise en œuvre dans les régions *acheteuses* respecteront rigoureusement le critère d'efficience. Il semble presque assuré que les modalités de mise en œuvre dans les régions vendeuses *ne respecteront pas* le critère d'efficience.

APPENDICE A
LES DONNÉES

Tableau A.1
Agrégation régionale,
Protocole de Kyoto

CAN	Canada
USA	États-Unis
JPN	Japon
EUR	Europe
OOE	Autres pays de l'OCDE
CHN	Chine
FSU	Ancienne Union soviétique
CEA	Pays d'Europe centrale
ASI	Autres pays d'Asie
MPC	Mexique et OPEP
ROW	Reste du monde
WLD	Monde

Tableau A.2
Agrégation des produits,
Protocole de Kyoto

AGR	Cultures primaires et fibres
LAP	Produits d'animaux vivants (y compris le bétail, la laine et les produits de la pêche)
PFD	Aliments transformés
COL	Charbon
CRU	Pétrole
GAS	Gaz naturel
OMN	Autres minéraux
FRS	Exploitation forestière
TEX	Textiles
WAP	Vêtements
LEA	Produits en cuir
LUM	Bois d'œuvre et bois brut
PPP	Pâtes et papiers
P-C	Produits du pétrole et du charbon
CRP	Produits chimiques, caoutchouc et plastiques
NMM	Produits minéraux non métalliques
I-S	Métaux ferreux primaires
NFM	Métaux non ferreux
FMP	Produits métalliques ouvrés
MVH	Véhicules automobiles
OTN	Autre matériel de transport
ELE	Matériel électronique
OME	Machines et matériel
OMF	Autres produits manufacturés
ELY	Électricité
GDT	Fabrication et distribution du gaz
WTR	Eau
CNS	Construction
T-T	Commerce et transports
OSP	Autres services (privés)
OSG	Autres services (publics)

APPENDICE B
PARAMÈTRES DU SCÉNARIO DE RÉFÉRENCE

Dans cet appendice, nous examinons la configuration des élasticités dans le scénario de référence. Les paramètres de substitution de l'énergie sont les mêmes pour toutes les régions.

Tableau B.1
Paramètres de substitution de l'énergie

	V
Substitution entre divers types de combustibles fossiles	0,50
Substitution entre l'électricité et les combustibles fossiles	0,30
Substitution entre l'énergie et les facteurs primaires	0,50
Substitution entre l'énergie et les biens (demande finale)	0,24

Il y a deux élasticités de type « Armington ». ESUBDM est l'élasticité de substitution entre les biens nationaux et un panier d'importations. ESUBMM est l'élasticité de substitution entre les importations en provenance de sources étrangères différentes. Dans un secteur donné, ces élasticités de substitution sont les mêmes pour tous les pays.

ESUBVA est l'élasticité de substitution entre les facteurs dans le panier de la valeur ajoutée. Ce paramètre a été fixé à 0,2 pour les secteurs non liés aux combustibles fossiles primaires et à 0,05 pour les secteurs liés aux combustibles fossiles primaires. Dans ce dernier cas, le choix de la valeur de l'élasticité s'est fait de manière à avoir une élasticité de l'offre de combustibles fossiles variant entre 0,6 et 1,0, conformément aux résultats d'autres études. Le tableau B.2 fait voir les valeurs standard employées pour les élasticités des échanges dans le modèle GTAP, ainsi que les élasticités de substitution standard entre les facteurs primaires dans ce modèle[32].

Dans le scénario de référence, nous avons employé les élasticités des échanges du modèle GTAP, sauf pour le charbon. Dans ce dernier cas, nous avons choisi des élasticités moins élevées (1,2 et 2,4) afin de tenir compte des contraintes imposées par l'éloignement aux possibilités de substitution entre différentes sources de charbon.

Tableau B.2
Paramètres spécifiques aux secteurs

Secteur	ESUBDM	ESUBMM	ESUBVA
AGR	2,20	4,40	0,20
LAP	2,79	5,45	0,20
PFD	2,38	4,69	0,20
COL	2,80	5,60	0,05
CRU	2,80	5,60	0,05
GAS	2,80	5,60	0,05
OMN	2,80	5,60	0,20
FRS	2,80	5,60	0,20
TEX	2,20	4,40	0,20
WAP	4,40	8,80	0,20
LEA	4,40	8,80	0,20
LUM	2,80	5,60	0,20
PPP	1,80	3,60	0,20
P-C	1,90	3,80	0,20
CRP	1,90	3,80	0,20
NMM	2,80	5,60	0,20
I-S	2,80	5,60	0,20
NFM	2,80	5,60	0,20
FMP	2,80	5,60	0,20
MVH	5,20	10,40	0,20
OTN	5,20	10,40	0,20
ELE	2,80	5,60	0,20
OME	2,80	5,60	0,20
OMF	2,80	5,60	0,20
ELY	2,80	5,60	0,20
GDT	2,80	5,60	0,20
WTR	2,80	5,60	0,20
CNS	1,90	3,80	0,20
T-T	1,90	3,80	0,20
OSP	1,90	3,80	0,20
OSG	1,90	3,80	0,20

Une analyse limitée de sensibilité des principaux résultats est présentée ci-après. SUBEV est l'élasticité de substitution entre la composite de l'énergie et la composite de la valeur ajoutée. EVASHR est la part de l'énergie attribuée au panier de la valeur ajoutée plutôt qu'au panier des intrants intermédiaires. CAPTY est le ratio de la capacité de production hydroélectrique dans le scénario du maintien du statu quo en 2010 à la capacité de référence de production d'hydroélectricité.

Tableau B.3
Paramètres spécifiques aux régions

Pays / région	SUBEV	EVASHR	CAPTY
CAN	0,20	0,99	0,92
USA	0,40	0,99	0,92
JPN	0,10	0,99	1,05
EUR	0,20	0,99	1,05
OOE	0,40	0,99	1,05
CHN	0,40	0,99	3,16
FSU	0,40	0,99	1,17
CEA	0,40	0,99	1,05
ASI	0,40	0,99	1,85
MPC	0,40	0,99	1,85
ROW	0,40	0,99	1,85

APPENDICE C
SCÉNARIO DU MAINTIEN DU STATU QUO

Le scénario du maintien du statu quo a une structure relativement simple. Un facteur de croissance spécifique à chaque région, traduisant la croissance entre 1995 (année repère) et 2010 en l'absence d'une politique de réduction des émissions de carbone, est appliqué à tous les intrants primaires de la région. Les facteurs de croissance du scénario du maintien du statu quo, entre les valeurs de l'année repère (1995) et celles de 2010, sont présentés au tableau C.1.

Tableau C.1
Facteurs de croissance, scénario du maintien du statu quo

CAN	1,386
USA	1,427
JPN	1,228
EUR	1,504
OOE	1,370
CHN	2,390
CEA	1,450
FSU	1,200
ASI	1,740
MPC	1,740
ROW	1,740

Ces taux de croissance sont appliqués de façon neutre : nous faisons l'hypothèse que les dotations en facteurs primaires croissent toutes à ce même taux. Nous présentons ci-dessous un bref sommaire du scénario du maintien du statu quo qui en découle. En procédant de cette façon, les taux de croissance s'appliquent aux facteurs propres aux divers secteurs (ressources et terrains) et aux facteurs qui sont mobiles d'un secteur à l'autre.

Tableau C.2
Sommaire du scénario du maintien du statu quo (BCH)

Pays / région	Bien-être (milliards de $)	Bien-être (pourcentage)
CAN	173,48	38,92
USA	2 611,76	43,29
JPN	855,24	24,03
EUR	3 495,43	50,70
OOE	122,94	38,05
CHN	897,37	127,10
FSU	81,44	21,54
CEA	112,93	45,57
ASI	653,32	71,87
MPC	608,24	70,18
ROW	1 307,69	73,02
WLD	10 919,83	49,29

C.1 Émissions

Lorsque le nouvel équilibre a été atteint avec ces nouvelles dotations en facteurs, les émissions de CO_2 sont sensiblement supérieures aux prévisions de l'Agence internationale de l'énergie (AIE) et de Ressources naturelles Canada (RNCan). En conséquence, les émissions ont été abaissées à l'échelle pour les faire correspondre exactement à ces cibles, par région et par catégorie de combustibles fossiles[33].

Les taux de croissance cibles des émissions entre le niveau de référence et le scénario du maintien du statu quo sont présentés au tableau C.3.

Tableau C.3
Croissance cible des émissions, 1995-2010, en pourcentage
(AIE/RNCan)

Secteur	CAN	USA	JPN	EUR	OOE	CHN
COL	25,250	30,230	14,421	12,938	22,808	63,764
GAS	17,699	22,379	57,820	68,633	39,936	241,666
P-C	14,216	18,758	15,006	21,955	19,275	122,799
TOT	17,610	23,494	19,484	28,289	24,063	77,113

Secteur	FSU	CEA	ASI	MPC	ROW
COL	19,186	19,186	70,458	70,458	70,458
GAS	29,652	29,652	99,370	99,370	99,370
P-C	18,566	18,566	56,978	56,978	56,978
TOT	23,535	20,854	66,617	70,166	66,923

Toutes les valeurs ont été calculées par rapport à l'année repère 1995. Elles sont exprimées en milliards de dollars US de 1995.

APPENDICE D
SENSIBILITÉ DES PARAMÈTRES

D.1 Analyse limitée de sensibilité du modèle NCP

Divers scénarios ont été élaborés pour examiner la sensibilité des paramètres aux effets de la conformité aux engagements de Kyoto sur le bien-être et le prix du carbone. Une brève description des différences entre les scénarios de sensibilité et le scénario de référence est présentée au tableau D.1.

Tableau D.1
Configuration des paramètres

C-C	Scénario de référence
MRT	Valeurs de MRT lorsque connues, valeurs de C-C dans tous les autres cas
GTP	Valeurs suggérées distribuées selon le modèle GTAP (C-C dans tous les autres cas)
LEV	Élasticité de substitution entre la composite de l'énergie et la valeur ajoutée, réduite de 0,4 à 0,1
LFF	Élasticité de substitution entre les différents types de combustibles fossiles réduite à 0,1
LEF	Élasticité de substitution entre l'agrégat des combustibles fossiles et l'électricité réduite de 0,3 à 0,1
LVA	Élasticité de substitution au sein du panier de la valeur ajoutée réduite de 30 p. 100 par rapport aux valeurs (élevées) du modèle GTAP
LTR	Élasticités des échanges (entre les importations et les produits nationaux et entre les sources d'importation) réduites à 50 p. 100 de leur valeur initiale
HTR	Élasticités des échanges (entre les importations et les produits nationaux et entre les sources d'importation) haussées à 160 p. 100 de leur valeur initiale
CBS	Technologies de rechange moins coûteuses disponibles : la technologie de rechange n'est que de 33 p. 100 plus coûteuse, aux prix de référence, que l'électricité produite à partir de combustibles fossiles
HNF	Capacité plus grande de production d'électricité à partir de sources non fossiles : la capacité de génération ne reposant pas sur les combustibles fossiles (énergie hydroélectrique, énergie nucléaire et énergie éolienne, solaire, etc.) est fixée par hypothèse à un niveau 10 p. 100 plus élevé que le niveau de référence.

Les résultats de l'analyse limitée de sensibilité sont présentés au tableau D.2. Dans les cas LEV à HTR, les paramètres pertinents ont été modifiés de la même façon pour toutes les régions par rapport à leurs valeurs du scénario de référence. Il semble que les principales élasticités qui ressortent de ces résultats sont l'élasticité de substitution entre l'énergie et la valeur ajoutée et l'élasticité de substitution entre différents types de combustibles fossiles. L'abaissement des élasticités des échanges augmente la perte de bien-être au Canada de presque 50 p. 100. Enfin, la réduction du désavantage de la technologie de rechange (CBS) sur le plan des coûts abaisse sensiblement le coût de bien-être associé au respect des engagements pris.

Tableau D.2
Sommaire de l'analyse de sensibilité du bien-être pour le scénario NCP

Pays / région	C-C	MRT	GTP	LEV	LFF	LEF	LVA	LTR	HTR	CBS	HNF
Canada	-1,13	-1,21	-1,05	-1,26	-1,24	-1,14	-1,20	-1,46	-1,01	-1,01	-1,10
États-Unis	-0,60	-0,61	-0,47	-1,43	-0,64	-0,65	-0,64	-0,52	-0,62	-0,56	-0,60
Japon	-1,09	-1,09	-0,58	-1,12	-1,43	-2,31	-1,38	-0,80	-1,16	-1,04	-1,09
Europe	-1,21	-1,23	-0,71	-1,81	-1,37	-1,42	-1,44	-1,13	-1,23	-0,94	-1,21
Autres pays de l'OCDE	-0,72	-0,99	-0,89	-1,41	-0,80	-0,71	-0,52	-1,07	-0,57	-0,99	-0,72
Chine	-0,39	-0,38	-0,18	-0,51	-0,45	-0,44	-0,61	-0,78	-0,27	-0,32	-0,39
Ancienne Union soviétique	0,60	0,64	0,01	1,08	0,70	0,92	1,00	0,20	0,94	0,13	0,61
Pays d'Europe centrale	-0,30	-0,41	-0,37	-1,10	-0,37	-0,32	-0,32	-0,33	-0,29	-0,48	-0,31
Autres pays d'Asie	-0,24	-0,22	-0,08	-0,40	-0,25	-0,33	-0,30	-0,44	-0,19	-0,10	-0,24
Mexique et OPEP	-0,72	-0,72	-1,09	0,08	-0,82	-0,44	-0,28	-1,94	-0,37	-0,99	-0,72
Autres pays	-0,06	-0,07	-0,17	0,04	-0,06	0,00	0,11	-0,27	0,02	-0,11	-0,06
Total mondial	-0,78	-0,79	-0,54	-1,17	-0,89	-1,01	-0,87	-0,81	-0,76	-0,69	-0,78

D.2 Analyse limitée de sensibilité du modèle GCP

Certains résultats de l'analyse limitée de sensibilité sont aussi présentés au tableau D.3. Les scénarios de sensibilité envisagés sont ceux décrits précédemment au tableau D.1. Il y a deux changements clés dans les paramètres concernant les effets de bien-être au Canada. Une réduction de l'élasticité de substitution entre l'énergie et la valeur ajoutée et de l'élasticité de substitution entre les combustibles fossiles accroît la perte de bien-être à près de 1 p. 100 du PNB, même en présence d'un régime de droits d'émission échangeables.

Tableau D.3
Sommaire de l'analyse de sensibilité du bien-être pour le scénario GCP

Pays / région	C-C	MRT	GTP	LEV	LFF	LEF	LVA	LTR	HTR	CBS	HNF
Canada	-0,49	-0,52	-0,47	-0,87	-0,59	-0,50	-0,50	-0,61	-0,44	-0,49	-0,49
États-Unis	-0,29	-0,29	-0,24	-0,67	-0,34	-0,31	-0,31	-0,34	-0,27	-0,29	-0,29
Japon	-0,05	-0,04	-0,03	-0,11	-0,07	-0,07	-0,08	-0,05	-0,04	-0,05	-0,05
Europe	-0,13	-0,13	-0,11	-0,28	-0,17	-0,14	-0,15	-0,17	-0,12	-0,13	-0,13
Autres pays de l'OCDE	-0,64	-0,72	-0,60	-1,15	-0,63	-0,64	-0,63	-0,81	-0,58	-0,64	-0,63
Chine	0,26	0,27	0,22	0,79	0,31	0,25	0,25	0,69	0,16	0,26	0,25
Ancienne Union soviétique	2,15	2,14	1,69	5,51	2,60	2,35	2,42	2,55	1,94	2,15	2,14
Pays d'Europe centrale	-0,38	-0,39	-0,30	-0,81	-0,42	-0,41	-0,44	-0,41	-0,37	-0,38	-0,38
Autres pays d'Asie	0,15	0,15	0,15	0,46	0,12	0,14	0,12	0,34	0,09	0,15	0,15
Mexique et OPEP	-0,27	-0,27	-0,40	-0,11	-0,48	-0,16	-0,09	-0,36	-0,24	-0,27	-0,27
Autres pays	0,01	0,01	-0,01	0,21	-0,03	0,02	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01
Total mondial	-0,11	-0,11	-0,10	-0,17	-0,14	-0,11	-0,11	-0,11	-0,10	-0,11	-0,11

Une augmentation des élasticités des échanges facilite la substitution entre les biens intérieurs et les biens importés. Cela entraîne une diminution de la perte de bien-être au Canada.

Il est à noter que la perte totale de bien-être à l'échelle mondiale n'est pas très sensible à ces variations des paramètres, mais que la répartition de la perte entre les diverses régions l'est.

Le paramètre le plus influent dans le cas du prix du carbone est l'élasticité de substitution entre la composite de l'énergie et la composite de la valeur ajoutée.

NOTES

1 La structure du modèle employé ici (MRT-C) est semblable à celle d'un modèle statique élaboré par Glenn Harrison et Tom Rutherford pour l'analyse de l'Uruguay Round. Elle emprunte aussi le système de modélisation GTAPinGAMS de Tom Rutherford. Par conséquent, ce modèle a certaines similitudes avec le modèle dynamique MS-MRT employé par Tom Rutherford et Charles River Associates, mais ne devrait pas être confondu avec celui-ci. Voir Wigle, 1999.

2 Voir Center for Global Trade Analysis, 1998.

3 Autrement dit, s'il n'y a aucune possibilité d'acheter des permis d'émissions auprès d'autres pays.

4 Ce point est résumé à la section 4.1.3.

5 Pour un résumé des commentaires de William Nordhaus, consulter le site : http://www.weathervane.rff.org/features/feature055.html.

6 Dans le jargon de l'Environmental Protection Agency des États-Unis, les « permis » sont appelés des crédits de réduction des émissions.

7 Voir Joskow et coll., 1998.

8 Voir Tietenberg, 1985, ou même les sections pertinentes du texte de Tietenberg sur la politique environnementale actuelle (Tietenberg, 1998).

9 Voir Bohringer et Rutherford, 1996.

10 Voir Hahn et Stavins, 1999.

11 Voir Howatson et Campfens, 1997.

12 À Kyoto, le Canada s'est engagé à réduire ses émissions de 6 p. 100 par rapport au niveau de 1990.

13 Il est à noter que l'instrument de politique de DRI (Data Resources International) n'est pas efficient en raison de la façon dont les recettes sont éventuellement affectées.

14 Le modèle GTEM est administré par le Bureau of Agricultural and Resource Economics, de l'Australie (ABARE). Voir Tulpulé et coll., 1999.

15 On peut comparer cela à un niveau d'environ 25 p. 100 pour les États-Unis. Voir Tulpulé et coll., 1999, tableau 5, et Ressources naturelles Canada, 1997.

16 Les parts des coûts ont été calculées pour le secteur GTAP offrant la meilleure correspondance.

17 La spécification du modèle DRI suppose que les bénéfices supplémentaires tirés de la vente des permis sont constitués de dividendes et de gains non répartis. Les gains non répartis sont investis dans le même secteur.

18 Voir Wigle, 1999. La documentation relative au modèle peut-être consultée sur le site : http://www.kw.igs.net/~rwigle/model.pdf.

19 Voir le site : http://nash.colorado.edu/~tomruth/gtapingams/html/gtapgams.html.

20 Cela signifie que le secteur de la production d'électricité de rechange devient profitable à environ 250 $US par tonne de carbone.

21 Les données du GTAP englobent trois secteurs de services qui ne participent pas au commerce international et dont les flux commerciaux ont été fixés à zéro par définition. Ce sont WTR (eau et services publics), GDT (gazoducs et distribution du gaz) et CNS (construction).

22 Par intensité en carbone nous voulons dire la quantité d'émissions de carbone par dollar de production. De même, l'intensité énergétique est la valeur des intrants énergétiques par unité de production.

23 Un secteur qui consomme très peu de combustible peut néanmoins avoir un coefficient élevé d'intrants énergétiques s'il utilise beaucoup d'intrants intermédiaires à coefficient élevé d'énergie.

24 Ces résultats se comparent aux estimations des pertes de bien-être du Canada dans le modèle MS-MRT, qui approchent 2,5 p. 100 avec une taxe sur les émissions de carbone de plus de 350 $.

25 Dans tous les tableaux sectoriels qui suivent, l'électricité produite sans combustibles fossiles (NFE) se distingue de l'électricité produite à partir de combustibles fossiles (ELY) et de celle produite à l'aide de technologies de rechange (BKS). Puisque nous supposons que ces trois biens sont des substituts parfaits, les exportations et les importations sont présentées à la ligne ELY. Les changements de production présentés concernent uniquement ce secteur. Pour le secteur de l'électricité produite à l'aide de technologies de rechange, le changement de production est exprimé en pourcentage de la production initiale d'énergie à partir de combustibles fossiles.

26 Une courbe des moindres carrés ajustée aux effets sectoriels observés sur la production et aux parts sectorielles de l'énergie explique environ la moitié de la variation des effets sectoriels autour de leur moyenne.

27 Si nous poussons suffisamment loin cette logique absurde, il est facile de concevoir que la taxe sur les émissions de carbone peut atteindre l'infini s'il n'y a pas d'échange de permis. C'est ce qui arriverait si nous exigions que tous les objectifs de réduction des émissions au Canada soient réalisés dans l'industrie canadienne des plumeaux d'époussetage.

28 Le niveau des pertes de bien-être dans un régime de conformité intérieur par rapport à celui que supposerait un régime mondial de droits d'émission échangeables dépend de la spécification des paramètres.

29 Une courbe des moindres carrés ajustée aux effets sectoriels observés sur la production et aux parts sectorielles de l'énergie explique, dans ce cas, moins de 20 p. 100 de la variation des effets sectoriels autour de leur moyenne.

30 Le but de cette formulation est de modéliser des divergences par rapport à l'efficience dans les réactions des régions vendeuses, plutôt que de restreindre les échanges internationaux, tel qu'envisagé dans les récentes propositions européennes.

31 Ces expériences diffèrent des expériences « nationales » correspondantes parce qu'elles supposent que toutes les régions de l'annexe B adoptent des politiques ayant des effets de distorsion semblables. Un scénario qui mérite une attention particulière est celui où différentes régions de l'annexe B adopteraient différents profils d'exemption en présence d'un régime mondial de droits d'émission échangeables.

32 Le capital, le travail, la main-d'œuvre qualifiée, les ressources et les terrains.

33 En termes de modélisation précise, les émissions de carbone du scénario de référence et du scénario du maintien du statu quo ne jouent aucun rôle. Il y a suffisamment de permis disponibles pour que leur valeur tombe à zéro. À ce stade, il est alors possible de les ramener à l'échelle pour atteindre une cible arbitraire. En outre, il est possible de les ramener à l'échelle par catégorie de combustible et par région de manière à atteindre les cibles prévues pour les émissions, par source de combustible et par région.

BIBLIOGRAPHIE

Agence internationale de l'énergie, *Perspectives énergétiques mondiales*, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, 1998.

Bernstein, P., W. D. Montgomery, T. F. Rutherford et G. Yang, « Effect of Restrictions on International Permit Trading », *Energy Journal Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol*, mai 1999, p. 221-256.

Bohringer, C. et T. F. Rutherford, « Carbon Taxes with Exemptions in an Open Economy: A General Equilibrium Analysis of the German Tax Initiative », *Journal of Environmental Economics and Management*, 1996, p. 189-203.

Center for Global Trade Analysis, *Global Trade, Assistance and Protection: The GTAP 4 Data Package*, rapport technique, Université Purdue, 1998.

DRI, *Impacts on Canadian Competitiveness of International Climate Change Mitigation: Phase II*, Standard and Poor's Data Resources International, novembre 1997.

Edmonds, J. A., S. H. Kim, C. N. McCracken, R. D. Sands et M. A. Wise, *Return to 1990: The Cost of Mitigating United States Carbon Emissions in the Post-2000 Period*, rapport technique, Pacific North West Laboratories, octobre 1997.

Hahn, R. W. et R. N. Stavins, *What Has Kyoto Wrought? The Real Architecture of International Tradeable Permit Markets*, version révisée du 25 février 1999.

Howatson, A. et J. Campfens, « The Economic Impact of Greenhouse Gas Reductions: A Comparative Review », document reprographié, Conference Board du Canada, juillet 1997.

Joskow, P. J., R. Schmalensee et E. M. Bailey, « The Market for Sulfur Dioxide Emissions », *American Economic Review*, vol. 88, n° 4, septembre 1998, p. 669-685.

Kainuma, M., Y. Matsuoka, T. Morita et T. Matsui, « Preliminary Analysis of Post-Kyoto EMF Scenarios », document reprographié, AIM Project Team, août 1998.

MacCracken, C., J. Edmonds, S. Kim et R. Sands, « The Economics of the Kyoto Protocol », *Energy Journal Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol*, mai 1999, p. 25-72.

Manne, A. S., « International Trade – Potential Impacts of the Kyoto Protocol », document reprographié, Université Stanford, mai 1998.

McKibbin, W. J., R. Shackleton et P. J. Wilcoxen, « What to Expect From an International System of Tradable Permits for Carbon Emissions », document reprographié, Brookings Institution and EPA, juillet 1998.

McKitrick, R., « Double Dividend, Environmental Taxation and Canadian Carbon Emissions Control », *Analyse de politique*, vol. 23, n° 4, 1997, p. 417-434.

Nordhaus, W. D. et J. G. Boyer, *Requiem for Kyoto: An Economic Analysis of The Kyoto Protocol*, document produit pour la rencontre du Energy Modeling Forum, Snowmass (Col.), les 10 et 11 août 1998.

Ressources naturelles Canada, *Perspectives énergétiques du Canada : 1996-2020*, Approvisionnements et Services Canada, Ottawa, 1997.

_____, *Perspectives des émissions du Canada : une mise à jour à 2010*, document de travail, Division des prévisions énergétiques, octobre 1998.

Rutherford, T. F., diapositives en vue de la conférence de Venise, Charles River Associates, mai 1998. Ces diapositives sont disponibles sur le site http://nash.colorado.edu/~tomruth/venice.html.

Schneider, S. H. et L. H. Goulder, « Achieving Low-Cost Emissions Reductions », *Nature*, vol. 389, n° 4, septembre 1997, p. 13-14.

Tietenberg, T., *Emissions Trading: An Exercise in Reforming Pollution Control*, Resources for the Future, Washington (D.C.), 1985.

_____, *Environmental Economics and Policy*, 2e édition, Addison Wesley, Reading (Mass.), 1998.

Tulpulé, V., S. Brown, J. Lim, C. Polidano, H. Pant et B. S. Fisher, « An Economic Assessment of the Kyoto Protocol Using the Global Trade and Environment Model », *Energy Journal Special Issue on the Costs of the Kyoto Protocol*, mai 1999, p. 257-286.

Wigle, R. M., « MRT-C Model Documentation », document reprographié, Université Wilfrid Laurier, octobre 1999.

PUBLICATIONS DE RECHERCHE D'INDUSTRIE CANADA

COLLECTION DOCUMENTS DE TRAVAIL

N° 1 **L'intégration économique de l'Amérique du Nord : les tendances de l'investissement étranger direct et les 1 000 entreprises les plus grandes**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment John Knubley, Marc Legault et P. Someshwar Rao, Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Les multinationales canadiennes : analyse de leurs activités et résultats**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment P. Someshwar Rao, Marc Legault et Ashfaq Ahmad, Industrie Canada, 1994.

N° 3 **Débordements transfrontaliers de R-D entre les industries du Canada et des États-Unis**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1994.

N° 4 **L'impact économique des activités de fusion et d'acquisition sur les entreprises**, Gilles Mcdougall, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1995.

N° 5 **La transition de l'université au monde du travail : analyse du cheminement de diplômés récents**, Ross Finnie, École d'administration publique, Université Carleton et Statistique Canada, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 6 **La mesure du coût d'observation lié aux dépenses fiscales : les stimulants à la recherche-développement**, Sally Gunz et Alan Macnaughton, Université de Waterloo, et Karen Wensley, Ernst & Young, Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 7 **Les structures de régie, la prise de décision et le rendement des entreprises en Amérique du Nord**, P. Someshwar Rao et Clifton R. Lee-Sing, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 8 **L'investissement étranger direct et l'intégration économique de la zone APEC**, Ashfaq Ahmad, P. Someshwar Rao et Colleen Barnes, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 9 **Les stratégies de mandat mondial des filiales canadiennes**, Julian Birkinshaw, Institute of International Business, Stockholm School of Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 10 **R-D et croissance de la productivité dans le secteur manufacturier et l'industrie du matériel de communications au Canada**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 11 **Évolution à long terme de la convergence régionale au Canada**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, et Frank C. Lee, Industrie Canada, 1996.

N° 12 **Les répercussions de la technologie et des importations sur l'emploi et les salaires au Canada**, Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 13 **La formation d'alliances stratégiques dans les industries canadiennes : une analyse microéconomique**, Sunder Magun, Applied International Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 14 **Performance de l'emploi dans l'économie du savoir**, Surendra Gera, Industrie Canada, et Philippe Massé, Développement des ressources humaines Canada, 1996.

N° 15 **L'économie du savoir et l'évolution de la production industrielle**, Surendra Gera, Industrie Canada, et Kurt Mang, ministère des Finances, 1997.

N° 16 **Stratégies commerciales des PME et des grandes entreprises au Canada**, Gilles Mcdougall et David Swimmer, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1997.

N° 17 **Incidence sur l'économie mondiale des réformes en matière d'investissement étranger et de commerce mises en œuvre en Chine**, Winnie Lam, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1997.

N° 18 **Les disparités régionales au Canada : diagnostic, tendances et leçons pour la politique économique**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 19 **Retombées de la R-D entre industries et en provenance des États-Unis, production industrielle et croissance de la productivité au Canada**, Jeffrey I. Bernstein, Université Carleton et National Bureau of Economic Research, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 20 **Technologie de l'information et croissance de la productivité du travail : analyse empirique de la situation au Canada et aux États-Unis**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 21 **Progrès technique incorporé au capital et ralentissement de la croissance de la productivité au Canada**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 23 **La restructuration de l'industrie canadienne : analyse micro-économique**, Sunder Magun, Applied International Economics, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 24 **Les politiques du gouvernement canadien à l'égard de l'investissement étranger direct au Canada**, Steven Globerman, Université Simon Fraser et Université Western Washington, et Daniel Shapiro, Université Simon Fraser, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 25 **Une évaluation structuraliste des politiques technologiques – Pertinence du modèle schumpétérien**, Richard G. Lipsey et Kenneth Carlaw, Université Simon Fraser, avec la collaboration de Davit D. Akman, chercheur associé, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 26 **Commerce intrasociété des entreprises transnationales étrangères au Canada**, Richard A. Cameron, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 27 **La hausse récente des demandes de brevets et la performance des principaux pays industrialisés sur le plan de l'innovation – Tendances et explications**, Mohammed Rafiquzzaman et Lori Whewell, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1998.

N° 28 **Technologie et demande de compétences : une analyse au niveau de l'industrie**, Surendra Gera et Wulong Gu, Industrie Canada, et Zhengxi Lin, Statistique Canada, 1999.

N° 29 **L'écart de productivité entre les entreprises canadiennes et américaines**, Frank C. Lee et Jianmin Tang, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 30 **Investissement étranger direct et croissance de la productivité : l'expérience du Canada comme pays d'accueil**, Surendra Gera, Wulong Gu et Frank C. Lee, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 31 **Les entreprises manufacturières sous contrôle canadien sont-elles moins productives que leurs concurrentes sous contrôle étranger?** Someshwar Rao et Jianmin Tang, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 2000.

N° 32 **Le paradoxe canado-américain de la croissance de la productivité**, Serge Coulombe, Département de sciences économiques, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

N° 33 **Propension à la R-D et productivité dans les entreprises sous contrôle étranger au Canada**, Jianmin Tang et Someshwar Rao, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 2001.

N° 34 **Les répercussions sectorielles de l'application du Protocole de Kyoto**, Randall Wigle, Université Wilfrid Laurier, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2001.

COLLECTION DOCUMENTS DE DISCUSSION

N° 1 **Les multinationales comme agents du changement : définition d'une nouvelle politique canadienne en matière d'investissement étranger direct**, Lorraine Eden, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Le changement technologique et les institutions économiques internationales**, Sylvia Ostry, Centre for International Studies, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 3 **La régie des sociétés au Canada et les choix sur le plan des politiques**, Ronald J. Daniels, Faculté de droit, Université de Toronto, et Randall Morck, Faculté d'administration des affaires, Université de l'Alberta, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 4 **L'investissement étranger direct et les politiques d'encadrement du marché : réduire les frictions dans les politiques axées sur la concurrence et la propriété intellectuelle au sein de l'APEC**, Ronald Hirshhorn, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1996.

N° 5 **La recherche d'Industrie Canada sur l'investissement étranger : enseignements et incidence sur les politiques**, Ronald Hirshhorn, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 6 **Rivalité sur les marchés internationaux et nouveaux enjeux pour l'Organisation mondiale du commerce**, Edward M. Graham, Institute for International Economics, Washington (D.C.), dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 7 **Conséquences des restrictions à la propriété étrangère pour l'économie canadienne – Une analyse sectorielle**, Steven Globerman, Université Western Washington, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 8 **Les déterminants de la croissance de la productivité canadienne : enjeux et perspectives**, Richard G. Harris, Université Simon Fraser et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 9 **Le Canada manque-t-il le « bateau technologique »? Examen des données sur les brevets**, Manuel Trajtenberg, Université de Tel-Aviv, National Bureau of Economic Research et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

N° 10 **L'intégration économique de l'Amérique du Nord – Problématique et recherche future**, Richard G. Harris, Université Simon Fraser, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2001.

COLLECTION DOCUMENTS HORS SÉRIE

N° 1 **Obstacles officiels et officieux à l'investissement dans les pays du G-7 : analyse par pays**, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes, John Knubley, Rosemary D. MacDonald et Christopher Wilkie, Industrie Canada, 1994.

Obstacles officiels et officieux à l'investissement dans les pays du G-7 : résumé et conclusions, personnel de la Direction de l'analyse de la politique micro-économique, notamment Ashfaq Ahmad, Colleen Barnes et John Knubley, Industrie Canada, 1994.

N° 2 **Les initiatives d'expansion commerciale dans les filiales de multinationales au Canada**, Julian Birkinshaw, Université Western Ontario, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 3 **Le rôle des consortiums de R-D dans le développement de la technologie**, Vinod Kumar, Research Centre for Technology Management, Université Carleton, et Sunder Magun, Centre de droit et de politique commerciale, Université d'Ottawa et Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 4 **Écarts hommes/femmes dans les programmes universitaires**, Sid Gilbert, Université de Guelph, et Alan Pomfret, King's College, Université Western Ontario, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 5 **La compétitivité : notions et mesures**, Donald G. McFetridge, Département d'économique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 6 **Aspects institutionnels des stimulants fiscaux à la R-D : le crédit d'impôt à la RS&DE**, G. Bruce Doern, École d'administration publique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 7 **La politique de concurrence en tant que dimension de la politique économique : une analyse comparative**, Robert D. Anderson et S. Dev Khosla, Direction de l'économique et des affaires internationales, Bureau de la politique de concurrence, Industrie Canada, 1995.

N° 8 **Mécanismes et pratiques d'évaluation des répercussions sociales et culturelles des sciences et de la technologie**, Liora Salter, Osgoode Hall Law School, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 9 **Sciences et technologie : perspectives sur les politiques publiques**, Donald G. McFetridge, Département d'économique, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 10 **Innovation endogène et croissance : conséquences du point de vue canadien**, Pierre Fortin, Université du Québec à Montréal et Institut canadien des recherches avancées, et Elhanan Helpman, Université de Tel-Aviv et Institut canadien des recherches avancées, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 11 **Les rapports université-industrie en sciences et technologie**, Jérôme Doutriaux, Université d'Ottawa, et Margaret Barker, Meg Barker Consulting, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 12 **Technologie et économie : examen de certaines relations critiques**, Michael Gibbons, Université de Sussex, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1995.

N° 13 **Le perfectionnement des compétences des cadres au Canada**, Keith Newton, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1995.

N° 14 **Le facteur humain dans le rendement des entreprises : stratégies de gestion axées sur la productivité et la compétitivité dans l'économie du savoir**, Keith Newton, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 15 **Les charges sociales et l'emploi : un examen de la documentation**, Joni Baran, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1996.

N° 16 **Le développement durable : concepts, mesures et déficiences des marchés et des politiques au niveau de l'économie ouverte, de l'industrie et de l'entreprise**, Philippe Crabbé, Institut de recherche sur l'environnement et l'économie, Université d'Ottawa, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 17 **La mesure du développement durable : étude des pratiques en vigueur**, Peter Hardi et Stephan Barg, avec la collaboration de Tony Hodge et Laszlo Pinter, Institut international du développement durable, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 18 **Réduction des obstacles réglementaires au commerce : leçons à tirer de l'expérience européenne pour le Canada**, Ramesh Chaitoo et Michael Hart, Centre de droit et de politique commerciale, Université Carleton, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 19 **Analyse des mécanismes de règlement des différends commerciaux internationaux et conséquences pour l'Accord canadien sur le commerce intérieur**, E. Wayne Clendenning et Robert J. Clendenning, E. Wayne Clendenning & Associates Inc., dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1997.

N° 20 **Les entreprises autochtones : caractéristiques et stratégies de croissance**, David Caldwell et Pamela Hunt, Centre de conseils en gestion, dans le cadre d'un contrat avec Entreprise autochtone Canada, Industrie Canada, 1998.

N° 21 **La recherche universitaire et la commercialisation de la propriété intellectuelle au Canada**, Wulong Gu et Lori Whewell, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 1999.

N° 22 **La comparaison des niveaux de vie au Canada et aux États-Unis – Une perspective régionale**, Raynald Létourneau et Martine Lajoie, Direction de l'analyse de la politique micro-économique, Industrie Canada, 2000.

N° 23 **Liens entre changement technologique et croissance de la productivité**, Steven Globerman, Université Western Washington, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

N° 24 **Investissement et croissance de la productivité – Étude inspirée de la théorie néoclassique et de la nouvelle théorie de la croissance**, Kevin J. Stiroh, Federal Reserve Bank de New York, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

N° 25 **Les déterminants économiques de l'innovation**, Randall Morck, Université de l'Alberta, et Bernard Yeung, Université de New York, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

N° 26 **Les PME, l'exportation et la création d'emploi : une analyse au niveau de l'entreprise**, Élisabeth Lefebvre et Louis A. Lefebvre, CIRANO et École polytechnique de Montréal, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 2000.

COLLECTION LE CANADA AU 21e SIÈCLE

N° 1 **Tendances mondiales : 1980-2015 et au delà**, J. Bradford DeLong, Université de la Californie, Berkeley, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 2 **Libéralisation étendue axée sur les aspects fondamentaux : un cadre pour la politique commerciale canadienne**, Randy Wigle, Université Wilfrid Laurier, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 3 **L'intégration économique de l'Amérique du Nord : les 25 dernières années et les 25 prochaines années**, Gary C. Hufbauer et Jeffrey J. Schott, Institute for International Economics, Washington (D.C.), dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 4 **Les tendances démographiques au Canada, 1996-2006 : les répercussions sur les secteurs public et privé**, David K. Foot, Richard A. Loreto et Thomas W. McCormack, Madison Avenue Demographics Group, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 5 **Investissement : les défis à relever au Canada**, Ronald P.M. Giammarino, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 6 **Visualiser le 21e siècle – Investissements en infrastructure pour la croissance économique, le bien-être et le mieux-être des Canadiens**, Christian DeBresson, Université du Québec à Montréal, et Stéphanie Barker, Université de Montréal, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 7 **Les conséquences du changement technologique pour les politiques de main-d'œuvre**, Julian R. Betts, Université de la Californie à San Diego, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 8 **L'économie et l'environnement : l'expérience récente du Canada et les perspectives d'avenir**, Brian R. Copeland, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 9 **Réactions individuelles à l'évolution du marché du travail au Canada**, Paul Beaudry et David A. Green, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 10 **La réaction des entreprises – L'innovation à l'ère de l'information**, Randall Morck, Université de l'Alberta, et Bernard Yeung, Université du Michigan, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

N° 11 **Institutions et croissance – Les politiques-cadres en tant qu'instrument de compétitivité**, Ronald J. Daniels, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1998.

COLLECTION PERSPECTIVES SUR LE LIBRE-ÉCHANGE NORD-AMÉRICAIN

N° 1 **La fabrication dans les pays de petite taille peut-elle survivre à la libéralisation du commerce? L'expérience de l'Accord de libre-échange Canada-États-Unis**, Keith Head et John Ries, Université de la Colombie-Britannique, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 2 **Modélisation des liens entre le commerce et l'investissement étranger direct au Canada**, Walid Hejazi et A. Edward Safarian, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 3 **Libéralisation des échanges et migration de travailleurs qualifiés**, Steven Globerman, Université Western Washington et Université Simon Fraser, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 4 **Évolution du profil sectoriel et professionnel du commerce international du Canada**, Peter Dungan et Steve Murphy, Institute for Policy Analysis, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

N° 5 **Incidence de l'Accord de libre-échange entre le Canada et les États-Unis sur le commerce interprovincial**, John F. Helliwell, Université de la Colombie-Britannique, Frank C. Lee, Industrie Canada, et Hans Messinger, Statistique Canada, 1999.

N° 6 **L'essentiel sur l'Accord de libre-échange Canada-États-Unis**, Daniel Trefler, Université de Toronto, dans le cadre d'un contrat avec Industrie Canada, 1999.

MONOGRAPHIE

La productivité au niveau de l'industrie et la compétitivité internationale au Canada et aux États-Unis, publié sous la direction de Dale W. Jorgenson Université de Harvard, et Frank C. Lee, Industrie Canada, 2000.

DOCUMENTS DE RECHERCHE

N° 1 **Investissement étranger, technologie et croissance économique,** publié sous la direction de Donald G. McFetridge, University of Calgary Press, 1991.

N° 2 **La mondialisation des sociétés par le jeu des fusions et acquisitions**, publié sous la direction de Leonard Waverman, University of Calgary Press, 1991.

N° 3 **Multinationales en Amérique du Nord,** publié sous la direction de Lorraine Eden, University of Calgary Press, 1994, 1996.

N° 4 **Les multinationales canadiennes**, publié sous la direction de Steven Globerman, University of Calgary Press, 1994.

N° 5 **La prise de décision dans les entreprises au Canada**, publié sous la direction de Ronald J. Daniels et Randall Morck, University of Calgary Press, 1995.

N° 6 **La croissance fondée sur le savoir et son incidence sur les politiques microéconomiques**, publié sous la direction de Peter Howitt, University of Calgary Press, 1996.

N° 7 **La région de l'Asie-Pacifique et l'économie mondiale : perspectives canadiennes**, publié sous la direction de Richard G. Harris, University of Calgary Press, 1996.

N° 8 **Le financement de la croissance au Canada**, publié sous la direction de Paul J.N. Halpern, University of Calgary Press, 1997.

N° 9 **La politique de concurrence et les droits de propriété intellectuelle dans l'économie du savoir**, publié sous la direction de Robert D. Anderson et Nanacy T. Gallini, University of Calgary Press, 1998.

PUBLICATIONS CONJOINTES

Capital Budgeting in the Public Sector, en collaboration avec le John Deutsch Institute, sous la direction de Jack Mintz et Ross S. Preston, 1994.

Infrastructure and Competitiveness, en collaboration avec le John Deutsch Institute, sous la direction de Jack Mintz et Ross S. Preston, 1994.

Getting the Green Light: Environmental Regulation and Investment in Canada, en collaboration avec l'Institut C.D. Howe, Jamie Benidickson, G. Bruce Doern et Nancy Olewiler, 1994.

Pour obtenir des exemplaires de l'un des documents publiés dans le cadre du Programme des publications de recherche d'Industrie Canada, veuillez communiquer avec le :

Responsable des publications
Analyse de la politique micro-économique
Industrie Canada
5e étage, tour Ouest
235, rue Queen
Ottawa (Ontario) K1A 0H5

Tél. : (613) 952-5704
Fax : (613) 991-1261
Courriel : mepa.apme@ic.gc.ca